Aus dem Institut für Hufkunde der Kgl. Tierärztl. Hochschule
zu Dresden.
Direktor: Obermedizinalrat Prof. Dr. LUNGWITZ.

# Zur Architektur des Hufbeines und seiner physiologischen Transformation.

## Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der veterinär-medizinischen Doktorwürde

der

durch die ordentlichen Professoren
der Königlichen Tierärztlichen Hochschule zu Dresden verstärkten

**Medizinischen Fakultät der Universität Leipzig.**

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Vorgelegt von

**Max Gläsel**

zurzeit Veterinär im Felde.

Mit 9 Abbildungen.

DRESDEN
Buchdruckerei F. A. Wolf, Zirkusstraße 37
1916.

Gedruckt mit Genehmigung der durch die ordentlichen Professoren der Tierärztlichen Hochschule zu Dresden verstärkten medizinischen Fakultät zu Leipzig. 7. Dezember 1916.

---

Referent: Professor Dr. Lungwitz.

Meinen lieben Eltern.

# Inhaltsverzeichnis.

Seite

**Geschichtliches über die Struktur der Knochen im allgemeinen und ihre Transformation** . . . . . 6

**Die äußere Beschaffenheit des Hufbeines** . . . . . 28

**Die auf das Hufbein von außen einwirkenden Kräfte** . . . . . 33

**Die innere Struktur des Hufbeins** . . . . . 35

Ergebnis . . . . . 44

**Zur physiologischen Transformation des Hufbeines** . . . . . 47

Ergebnis . . . . . 50

**Literaturverzeichnis** . . . . . 51

**Erklärung der Abbildungen** . . . . . 54

Jedes Organ des tierischen Körpers ist von der Natur in zweckentsprechender Weise eingerichtet. Das gilt auch von den Knochen. Sowohl der äußeren Form wie der inneren Struktur nach sind diese so beschaffen, daß sie den an sie herantretenden physiologischen Anforderungen am besten genügen können. Noch mehr; durch Untersuchungen, die besonders in der letzten Zeit sich gemehrt haben, ist nachgewiesen worden, daß, wenn die Beanspruchung des Knochens sich ändert, auch der Knochen selbst sich entsprechend umbildet. Man spricht von einer Transformation des Knochens, welche wiederum eine physiologische oder pathologische sein kann. Beweise für die physiologische Transformation sind in der Veterinärmedizin vor allem für die Zehenknochen des Pferdes, wenigstens für die erste und zweite Phalanx erbracht worden. Ohne weiteres berechtigen sie zu der Annahme, daß auch am Hufbein Transformationsvorgänge ablaufen, wenn die abgeänderten Leistungen desselben solche bedingen. Herr Obermedizinalrat Professor Dr. Lungwitz beauftragte mich, das Hufbein bezüglich solcher Umbildungsprozesse zu untersuchen, dabei aber gleichzeitig und hauptsächlich den anatomischen Bau dieses Fußknochens behufs seiner architektonischen Konstruktion zu prüfen, da bisher nur vereinzelte derartige Untersuchungen ausgeführt worden seien.

## Geschichtliches über die Struktur der Knochen im allgemeinen und ihre Transformation.

Die ersten schriftlichen Ueberlieferungen über die Leistungsfähigkeit der Knochen und ihre Beziehungen zu dem spongiösen Knochengewebe sind in der Humanmedizin zu finden.

Sie zeigen uns, daß im Jahre 1740 Duhamel Untersuchungen darüber ausgeführt hat. Weitere Beschreibungen dieser Art stammen von John Hunter (1728—93) und Flourens (1794—1867). Man legte damals der Theorie von dem Juxtapositionswachstum ausschließliche Bedeutung bei. Sie besagt, daß der Knochen nicht von innen nach außen wächst, sondern an seiner Peripherie je nach seiner Wachstumstendenz mehr oder weniger Knochenmasse ansetzt. „L'os change continuellement du corps et des têtes pendant qu'il s'accroit, ce n'est pas le même os qui s'accroit; c'est une suite d'os qui disparaissent et une nouvelle suite d'os qui se forment." (Nach v. Volkmann (35).)

Bouley (5), ein Veterinärmediziner, beschreibt 1851 das Hufbein nicht nur seiner äußeren Gestalt nach, sondern er schildert auch die innere Struktur. Er berichtet hierüber folgendes: „Cette même substance semble iradier à travers le canevas celluleux de l'os une multitude de lamelles solides, disposées et entrecroisées comme les poutres d'une charpente pour répartir les pressions sur les parties de l'os qui, par leur densité et leur compacité, offrent le plus de résistence. Ainsi par exemple, il existe un pilier très solide de substance compacte qui se prolonge en ligne perpendiculaire du renflement intérieur de l'éminence pyramidale au renflement de la couche corticale inférieur, correspondant à la crête semilunaire."

Bezüglich der Spongiosa äußert er sich ähnlich. Sie ist nach ihm dazu berufen, den gewaltigen Körperdruck auszuhalten und so zu verteilen, daß sie den größtmöglichsten Anforderungen genügen kann.

„Ce qui semble ressortir d'une inspection à l'oeil nu ou à la loupe faite sur différentes coupes parallèles, pratiquées dans le sens de la longueur de l'os c'est qu'elles paraissent combinées, dans leur disposition générale, de manière à transmettre et à répartir les pressions sur les régions de l'os qui, par leur structure et leur composition, offrent le plus de conditions de résistance."

Bouley hat nach Knauer (21) „am Hufbein schon lange vor Meyer erkannt, daß senkrecht von der Hufgelenkfläche ausgehende Knochenlamellen den Druck aufnehmen und im Knochen auf stützfähige Punkte verteilen."

v. Volkmann (35) meint, daß der Knochen selbst als ein starres Gewebe angesehen würde, wenn man lehrt, daß jede Formveränderung vom Periost durch ossifizierende Auflagerung, Beinhautlamellen bildend, ausgehe und gleichzeitig ein Schwund oder eine Aufsaugung der Knochensubstanz von den Knochenmark- oder Leibeshöhlen aus stattfinde. Man bemerkte zwar zuweilen, sagt v. Volkmann von den alten Autoren, eine Veränderung der feineren Struktur, trotzdem aber glaubte man, daß die starre Knochenmasse so fest und widerstandsfähig sei, daß „der Gesamtbau während des Reparirens genügend durch das Stehenbleibende gestützt, unbeweglich, unausdehnbar sei."

Der älteren Ansicht von der Knochenveränderung gibt Fick (11,12) in noch viel deutlicher Weise Ausdruck. Nach ihm ist der Einfluß äußerer Kräfte, wie er durch Muskeln und Sehnen hervorgerufen wird, auf die Gestaltung und das Wachstum der Knochen von äußerster Bedeutung, da durch sie das periostale Knochenwachstum gefördert werden soll. Umgekehrt sagt er: „Wo der Muskel hinwächst, schwindet der Knochen."

Virchow (34) bemerkt hierzu, daß mann nach Ficks Auffassung „den übrigen Geweben in verstärktem Maße das gibt, was man den Knochen nimmt, und daß die Frage von den Vegetations-Intensitäten von den Knochen auf die Weichteile

übertragen wird". Ueberdies findet er es eigenartig, daß Fick über Knochenvegetation schreibt, nachdem er, Virchow, selbst gezeigt hat, „daß die Ahnung des alten Duhamel von der Uebereinstimmung des Pflanzen- und Knochenwachstums begründet war."

Nach v. Volkmann ist „die Elastizität der Knochen" im Stande, in Verbindung mit dem die Spannung ausgleichenden Stoffwechsel langsam die allerbeträchtlichsten Gestaltsveränderungen der Knochen zu Wege zu bringen. Er stellt sich die Frage, ob nicht etwa im Knochen das Wachstum so vor sich gehe wie in anderen Geweben, nämlich von innen heraus. Bis 1862 haben die Anatomen und Physiologen nicht an die Möglichkeit gedacht, daß ein interstitielles Wachstum im Knochen vorhanden ist. Selbst v. Meyer spricht nicht davon. v. Volkmann (35) glaubt an ein interstitielles Knochenwachstum. Er kommt zu dieser Annahme auf Grund seiner chirurgischen Erfahrungen und als Anhänger des Virchow'schen Satzes, welcher besagt, daß „jede pathologische Erscheinung nur die Aeußerung oder Hemmung physiologischer Eigenschaften des Körpers darstellt."

v. Meyer (25) stellte 1867 genauere Untersuchungen über den Bau der Knochen und ihre „wohlmotivierte" Architektur an. Er führte Belastungsversuche mit Stäbchen und Röhrchen aus und kam dabei zu überraschenden Ergebnissen. Die größte Widerstandsfähigkeit besitzt nach ihm ein Knochen dann, wenn die Knochenmasse aus Stäbchen besteht, die in der Belastungslinie liegen. Er stellte ferner fest, daß, wenn einem massiven Stab durch Aushöhlung $^1/_3$ seiner Masse genommen wird, seine Leistungsfähigkeit sich nur um $^1/_{10}$ verringert. Die Verhältnisse liegen ähnlich beim Röhrenknochen. v. Meyer teilt schließlich die Knochen nach ihrer Innenstruktur in drei Typen ein, in den rundmaschigen Typus bei rundlichen Knochen, den Längslamellentypus bei Röhrenknochen und die Mittelform bei rundlichen Knochen. Als echte „Spongiosa" sieht er die aus Knorpelgewebe entstandene an, während er diejenige, welche sich aus der Dura abblättert, als „unechte Spongiosa" bezeichnet. Sie ist nicht nur dazu da, Material zu sparen, wie man dies bei voluminösen Knochen annehmen muß, sondern hauptsächlich deswegen, um die „wohlmotivierte Architektur" des Knocheninnern zu bilden.

Am einfachsten ist der Verlauf der Spongiosazüge, wenn nur ein einseitiger Widerstsnd überwunden werden soll. Bei mehrseitigem Widerstand ist sie kompliziert. v. Meyer gibt in seiner Abhandlung von der Architektur der Spongiosa (1867) eine interessante Beschreibung der Innenstruktur der Fußwurzelknochen, bei welcher zwei streng von einander geschiedene Balkenzüge vom Mittelfußgelenk aus beobachtet werden können. Der eine Zug geht nach dem Fersenbein, der andere nach den Fußwurzelknochen. Letzterer endet „sparrenartig" in den ersten Fußwurzelknochen. Interessant sind die Balkenzüge des Calcaneus deswegen, weil sie deutlich drei Systeme erkennen lassen. Das eine kommt von oben und geht nach hinten und unten; das zweite, ebenfalls von oben ausgehend, nimmt seinen Verlauf nach vorn und unten; das dritte Bälkchensystem endlich ist ein Zugbälkchensystem, welches am Boden eine Compacta zeigt. Die aus ihr ablätternden Knochenbälkchen gehen fächerartig nach der vorderen und der hinteren Fläche des Calcaneus. Das ganze System ist nach dem einwirkenden Druck konkav gestaltet. Man erklärt sich diese Erscheinung so, daß der Knochen dort einen gewaltigen Horizontalschub aushalten muß. Es wird diese Kraft noch der „untere Zug" des Calcaneus genannt, welcher einem Streckband entsprechen würde. Die Richtung der Blättchen zeigen uns also den Weg, auf dem sich die Gewalteinwirkungen im Knochen fortsetzen, und sie gestatten uns, einen Rückschluß auf seine Beanspruchung zu ziehen.

Durch die Untersuchungen des obengenannten Autors wurde Culmann (6), der als Professor der technischen Wissenschaften in Zürich der Begründer der Statik und Mechanik genannt wird, darauf aufmerksam, daß die in den Meyer'schen Präparaten vorhandenen Spongiosabälkchen ihrer Anordnung nach der graphischen Darstellung der Druck- und Zuglinien gleich sind die er für Körper gezeichnet hatte, welche einer Druckwirkung ausgesetzt sind. Diese Entdeckung gab den folgenden Untersuchungen späterer Autoren eine bestimmte Richtung. Es galt jetzt nachzuweisen, daß der Knochen betreffs seiner Innen- als auch Außenstruktur ein durch die Gesetze der Statik und Mechanik in sich harmonisch abgeschlossenes Ganzes bildet. Es verdienen hier Erwähnung die Forschungen von Wolff, Roux,

Bardeleben, Wolfermann, Langerhans, Aeby, Merkel, Eichbaum und Zschokke.

Wolff (38 ff.) stellte durch seine wissenschaftlichen Untersuchungen und mathematischen Begründungen der Lehre vom Juxtapositionswachstum die vom ausschließlichen Intussusceptionswachstum gegenüber, welche besagt, daß der Knochen von innen herauswächst und so seine äußere Gestalt formt, wobei die Innenarchitektur der Knochen eine bedeutende Rolle spielt. Gleichzeitig mit der Widerlegung der Juxtaposition wird auch die Drucktheorie, wie sie noch von Hueter (16) vertreten wird, für nichtig erklärt. Während dieser behauptet, daß vermehrte Neubildung und stärkeres Höhenwachstum der Knochen an den Stellen der Druckentlastung zu finden sei, und dort, wo der größte Druck stattfindet, der Knochen beim wachsenden Individium schwindet, also das Wachstum eine Hemmung erfährt, behauptet Wolff das Gegenteil. Er beweist, daß an der Stelle des größten Drucks die Spongiosa und die Summe von ihr, die Corticalis, verdichtet, an der Stelle des geringeren Drucks die Spongiosa gelockert und die Corticalis verdünnt ist. Wolff's eingehende Untersuchungen sind mit Hilfe der Lehren der graphischen Statik ausgeführt worden. Er weist auf die rechtwinklige Kreuzung der Knochenbälkchen und darauf hin, daß auf diese Weise Hohlräume zu Stande kommen, welche Quadrate oder Rechtecke bilden. Auch zu der Knochenoberfläche stehen die Bälkchen senkrecht und entsprechen den Druck- und Zuglinien. Die Spongiosabälkchen sind also kein wirres Durcheinander, sondern sie sind nach den Gesetzen der Statik angeordnet. Die Untersuchungen am Oberschenkelbein ergeben der Knochenachse parallele Schichtung der Bälkchen in der Diaphyse und bogenförmige, nicht parallele Lagerung in den Epiphysen. Die rechtwinkligen Kreuzungen der Bälkchen sind im Sinne der Statik nach Culmann als Zug- und Drucktrajektorien anzusehen. Wolff (38—43) hat die Studien Culmanns über die Druck- und Zuglinien fortgesetzt. Er sagt, „genau so wie ein Mathematiker für eine gegebene Kranform mit gegebener Oertlichkeit und Größe der Belastung das in diese Form hineingehörende System von Druck- und Zugkurven zu berechnen und zu zeichnen vermag, so kann er auch umgekehrt für ein gegebenes System von Druck- und Zugkurven die zu demselben gehörende

Kranform berechnen und zeichnen.“ Ebenso sei es beim Knochen. Auch bei pathologischen Veränderungen dieser Bewegungsorgane stellt sich eine der Funktion des Knochens angepaßte zweckmäßige Architektur von selbst ein. Wolff nimmt für sich in Anspruch, vor Roux 1870 festgestellt zu haben, daß „von der äußeren Form des Knochens ein Rückschluß darauf möglich sei, ob der Knochen nur auf Druckfestigkeit oder auch auf Biegungsfestigkeit beansprucht werde und desgleichen ein Rückschluß darauf, welche Architektur in der spongiösen Region desselben zu finden sein müsse.“ Die Herstellung ursprünglicher Formen, wo sie vorkommt, ist immer nur das Sekundäre; sie kann nur da stattfinden, wo sie durch das Streben zur Wiederherstellung der Funktion verlangt wird. „Alle Stoffzunahme des Knochens und ebenso aller Schwund von Knochensubstanz ist ausschließlich von den statischen Bedingungen abhängig, unter welchen der Knochen sich befindet.“ Im Beginn einer Abnormität ist die Knochenform normal, wie Wolff (S. 270) ausführt. „Indem die Kranken immer wiederholt dem betreffenden Körperteil eine fehlerhafte Haltung geben, ändern sich die Räumlichkeitsverhältnisse der rechten und linken Seite der Extremität bez. des Thorax zu einander und zum ganzen übrigen Körper ab. Mit den Räumlichkeitsverhältnissen aber ändern sich auch sogleich die Funktionsverhältnisse, d. i. die Größe und Richtung der statischen Beanspruchung aller einzelnen Partikelchen der Knochen der betreffenden Körperabschnitte.

Dieser veränderten statischen Beanspruchung paßt sich zugleich die innere Architektur und die innere und äußere Gestalt der Knochen an.“

Die Einteilung der Elementarteilchen des Knochens ist nach der Meinung Roux's (28) folgende. Es ist zu unterscheiden zwischen Knochenröhrchen, Knochenplättchen, Knochenbälkchen und Uebergangsformen. Die Knochenröhrchen werden gebraucht bei Inanspruchnahme in der Richtung der Achse derselben. Bei großer Festigkeit sind sie wenig, bei geringer Festigkeit stark durchlöchert. Die Knochenplättchen vereinigen sich oft zu Knochenplatten und sind geeignet, einen Wechsel der Beanspruchungsrichtung sowie Häufung des Widerstandes innerhalb der Fläche des Plättchens auszuhalten. Die Knochenbälkchen, welche solid sind,

können nur einer konstanten Kraft in der Richtung ihrer Achsen widerstehen.

Aus diesen Knochelementen resultieren verschiedene Arten von Spongiosa, deren erste Form die Röhrenspongiosa darstellt. Sie besteht aus sich berührenden Knochenröhrchen mit mehr oder weniger durchbrochenen Wandungen und ist für große Widerstände auf engem Raume geeignet. Die Maschen- oder Netzspongiosa, welche aus netzförmig aneinander gefügten Plättchen oder Bälkchen, oder beiden vermischt, besteht, vermittelt den Widerstand auf große Flächen. Der rundmaschige Typus hat runde oder ovale Maschen und ist für Druck in vielen Richtungen geeignet. Der eckigmaschige Typus kann rechtwinklige oder schiefwinklige Maschen haben. Ersterer überträgt parallel gerichtete Kräfte von einer Fläche zu einer anderen gleichgroßen, der schiefwinklige zerstreut die Kräfte einer kleinen zu einer großen Fläche oder versammelt sie von einer großen Fläche auf eine kleine. Die Plattenspongiosa besteht aus großen Platten, welche quer durch Bälkchen und Plättchen verbunden sind. Sie ist geeignet für einen außerordentlich großen Widerstand in der Richtung der Beanspruchung.

Schon zu v. Meyer's Zeiten kam man zu der Erkenntnis, daß die Compacta weiter nichts darstellt, als die zusammengedrängten Zug- und Druckplättchen der Spongiosa, wobei das Baumaterial möglichst gespart wird. Hierdurch und durch die Tatsache, das sich die Compacta in einzelne Bälkchen- und Lamellensysteme auflöst, wird den Anfordungen der Druck- und Zugwirkungen entsprochen. Mit jeder Veränderung der Funktion geht aber gleichzeitig eine Veränderung der Bälkchen und Lamellensysteme einher, auch im pathologisch veränderten Knochen. Infolgedessen ändert sich auch die Compacta als Summe der Bälkchen- und Lamellensysteme und damit die äußere Form. Bei analogen Verhältnissen der Störungen sind dieselben Gestaltsveränderungen zu beobachten. Roux (28) spricht in diesem Falle von der funktionellen Gestalt. Er dehnt die Lamarck'sche Theorie von der Wirkung des Gebrauchs oder Nichtgebrauchs der Organe auf ihre feinere funktionelle Gestalt aus. Darwins Lehre von der Individual-Auslese ergänzt er durch die „Partialauslese". Letztere besagt, daß die einzelnen Teile eines Ganzen, in unserem Falle

die im Knochen, so zusammengefügt sind, wie sie der größten Zweckmäßigkeit entsprechen.

Betont wird von ihm die rechtwinklige Kreuzung der Druck- und Zugbälkchen der Spongiosa und die funktionelle Bedeutung der äußeren Form der Knochen, welche die letzte Kurve des Gesamtsystems darstellt. Den mathematischen Beweis glaubt er damit stützen zu können, daß er sagt: „ist die Grenzkontur verändert, so ist auch die Innenarchitektur anders gestaltet". Wo Knochen überflüssig geworden sind, tritt Schwund der Oberflächenpartie ein und damit Veränderungen der Innenstruktur. Statisch erforderlich gewordene Partien sind größer und stärker an der Oberfläche mit entsprechender Innenstruktur. Diese Harmonie zwischen Corticalis und Spongiosa nennt Roux den anatomischen Beweis seiner Lehre von der „funktionellen Anpassung" Er leitet daraus das Gesetz ab, daß bei analogen Verhältnissen der Störung dieselben Gestaltsveränderungen eintreten.

Bardeleben (2—4) weist nach, daß für den Bau sowohl der menschlichen wie der tierischen Wirbelsäule das Fachwerk als das zu Grunde liegende Schema zu betrachten sei. An beiden findet man analog den Druck- und Streckbäumen eine entsprechende Richtung der Spongiosablättchen und -bälkchen des Wirbels. Entsprechend den statischen Verhältnissen überwiegen im Wirbel die senkrecht und horizontal verlaufenden Bälkchen. Wenige stehen schräg. Die senkrecht zueinander verlaufenden Spongiosazüge bilden den Druck- und Streckbaum, die schrägen die Füllung oder Streben. Beim Menschen resultiert aus der Stellung der Wirbelsäule eine Dreieckskonstruktion. Also ist der untere Wirbel stark entwickelt wie seine Innenarchitektur. Andererseits treten beim Menschen infolge der Aufrechtstellung des Körpers gewisse Teile vom ganzen System weniger deutlich in die Erscheinung als beim Tier.

Nach demselben Autor sind die Knochenbälkchen bei den Vierfüßlern bedeutend besser ausgeprägt, als beim Menschen, es gibt „im Uebrigen wenig Differenzen". Der „Druckbaum" wird von den Knochenbälkchen dargestellt, die beim Tier vom vorderen zum hinteren Proc. obliquus verlaufen, der „Streckbaum" von denen, die von vorn nach hinten im Wirbelkörper gehen. „Die Füllungsglieder werden durch die schräg von den Proc. obliqui zur gegenüber-

liegenden Fläche des Wirbelkörpers ziehenden Systeme dargestellt Er erwähnt ferner „Knotenpunkte“, welche nicht genau mit denen des Fachwerkes übereinstimmen. Jedenfalls zeigen die Wirbelsäulen der meisten Vierfüßler einen Bau, der dem einer eisernen Bogenbrücke entspricht.

Grundlegende Untersuchungen der Knochen bei Mensch und Tier hat auch Wolfermann (37) ausgeführt. Sie sind maßgebend für die Lehre von der Statik und Mechanik der Knochen. Es vertritt dieser Autor nicht die Ansicht von dem ausschließlichen interstitiellen Knochenwachstum, sondern er glaubt, daß das Längenwachstum bedingt wird durch den Epiphysenknorpel und das Dickenwachstum durch die Bindegewebskörperchen des Periosts. Er ist also Anhänger des appositionellen Knochenwachstums. Wenn das Knochengewebe in seinem Innern, sagt er, schon im Foetus so vorgebildet ist, daß man bereits in ihm eine gewisse Struktur erkennen kann, so beweist das nicht etwa, daß die Statik und Mechanik keinen Einfluß auf die innere Configuration des Knochens hat, sondern es beweißt dies vielmehr das „Gedächtnis der Materie“, und dies nennen wir Vererbung. Uns interessieren besonders die Ausführungen, welche Wolfermann über die Druck- und Zuglinien macht, die sich im Inneren der Fußknochen und speziell des Calcaneus befinden. „Was die Mittelfußknochen und Phalangen betrifft, so weicht die Anordnung beim Bären von der beim Menschen insofern ab, als an der Basis derselben eine Kreuzung oberer und unterer Plättchen vorhanden ist. Noch in den Klauen sind die nach vorne ziehenden Plättchen sehr schön entwickelt, mit welchen sich von der Compacta der unteren Fläche erhebende kreuzen.“ Diese Durchkreuzung fehlt den Mittelfußknochen beim Mensch, Bär, Rind und Lama. Der Calcaneus zeigt bei Mensch und Bär ausserordentlich große Aehnlichkeiten in der Innenstruktur. Man erkennt von der oberen Gelenkfläche des Knochens kommende Balkenzüge, welche nach unten und hinten nach der Tuberositas gehen, und solche, die nach der Gelenkfläche ziehen, welche an das Os cuboideum stößt. Als dritte Gruppe ist die von der unteren Fläche ausgehende beachtenswert. Sie entsendet von der Compacta Züge nach hinten und oben und ebenfalls wieder zur Gelenkfläche für das Os cuboideum.

Langerhans (22) beschreibt ebenfalls zunächst ein System von „Plättchenzügen“, welches zwischen den beiden Gelenkflächen der Wirbel ausgebreitet ist, das man auf frontalen und sagittalen Schnitten deutlich sehen kann und das in der Richtung der Belastung verläuft. Eine Ausnahme machen die Halswirbel und die in den tieferen Abschnitten der Wirbelsäule befindlichen Wirbel. Zwar sind diese Züge ebenfalls vorhanden, aber undeutlicher, da die Spongiosa gröber und unregelmäßiger wird. Das von Wolfermann beschriebene zweite System von Bälkchen, das sogenannte Streckbandsytem, wird von Bälkchen gebildet, welche quer zu den obengenannten gehen und nach Langerhans nicht als eigenes System angesehen werden können, da sie in manchen Wirbeln, wie den Halswirbeln, überhaupt nicht zu finden sind. Das von Wolfermann als radiales System bezeichnete wird von Langerhans nicht bestätigt. Es soll von der hinteren Fläche des Körpers in gekreuztem Verlauf nach der vorderen ziehen. Langerhans findet auf Horizontalschnitten nur rundliche Maschen, welche dann entstehen, wenn die Bälkchen quer geschnitten worden sind. Seine Untersuchungen, die er an Querschnitten der Tibia und Fibula machte, sind deswegen interessant, weil er aus der Innenkonstruktur der Fibula zu erkennen vermag, daß dieser Knochen als Stütze nicht unbedingt nötig ist. Maßgebend als Stützorgan kann nur die Tibia sein, da die Knochenbälkchen von der proximalen Gelenkfläche zur distalen ziehen. Selbstverständlich werden diese Züge durch ein Streckbandsystem zusammengehalten, welches nahe den Gelenkflächen verläuft. Im Fibulaköpfchen sind derartige Stützbälkchen nicht vorhanden. Analog der Tibia und Fibula beschreibt Langerhans den Humerus, den Radius und die Ulna. Er betont die doppelte Belastungsweise der oberen Extremität, „welche die Verhältnisse hier weit mehr kompliziert als das bei der einfachen Belastung der unteren Extremität der Fall ist. Dazu kommt, daß im Ganzen die Substantia compacta der Knochen der oberen Extremität relativ reicher entwickelt ist, die Spongiosa dadurch zurücktritt und somit ihre Züge meist weniger deutlich ausgeprägt sind.“

Aeby (1) ordnet die Knochen bezüglich ihrer Architektur in Gruppen. Er führt aus, daß die Knochenbälkchen überall dort parallel angeordnet sind, wo die Knochenachsen konstant parallel

laufen. Erfahren sie aber eine bleibende oder vorübergehende Störung, so konvergieren die Knochenbälkchen nach den Enden der Knochen hin. Maßgebend für den Parallelismus der Knochenachsen sind die sie verbindenden Gelenke. Darnach kommen drei Knochen-Typen des menschlichen Skeletts in Betracht: 1. Der Typus des Knochens bei Gelenken ohne eigentliche Drehachsen, wobei der Parallelismus der Knochenachsen konstant bleibt. Mithin sind die Knochenbälkchenzüge parallel. Vertreten wird dieser Typus in den Wirbeln. 2. Derjenige bei Gelenken mit einfacher Drehachse, bei welchem der Parallelismus der Knochenachsen in einer Richtung konstant und in der anderen inkonstant ist. Bei diesem Typus überwiegen die Balkenzüge, welche mit den Knochenachsen parallel laufen und durch die Ebene der Drehungsachsen bestimmt sind. In jeder anderen Ebene konvergieren die Balkenzüge. Als Beispiel wird das untere Ende des Femur und das obere der Tibia angeführt. 3. Als letzter Typus ist der bei Gelenken mit „doppelter gekreuzter" Drehachse anzusehen. Da bei diesem von einem Parallelismus der Knochenachsen keine Rede sein kann, so ist der Verlauf der Knochenbälkchen nie parallel, sondern konvergent. Als Beispiel eines solchen mehrachsigen Gelenkes werden Femur- und Humeral-Gelenk angeführt. Die entsprechenden Balkenzüge befinden sich im oberen Ende des Femurs und des Humerus.

Nahe den Gelenkflächen finden sich immer quergestellte Balkenzüge, die je nach den „Bedürfnissen" Modifikationen in ihrem Verlauf erleiden. Selbstverständlich findet das von Aeby gefundene Gesetz auch Anwendung auf Muskelansätze. Bei ihnen wird für den Verlauf der Bälkchen die Knochenachse durch die Muskelachse ersetzt.

Nach Merkel findet man in der Literatur bei älteren Forschern nicht einmal Vermutungen darüber, wie es Knochen mit vorwiegend spongiösem Bau, z. B. den Fußknochen, möglich ist, den gewaltigen Druck des Körpers auszuhalten. Seine genauen Ausführungen handeln von dem Oberschenkelbein. Insbesondere beschreibt er den „Schenkelsporn", welcher eine breite Knochenleiste darstellt und im Innern der hinteren Seite des Collums gelegen ist. Alle Knochenbälkchen des Caput laufen fächerförmig nach dieser eigentümlichen Knochenleiste und vereinigen sich in ihr,

weil sie die am meisten gefährtetste Stelle darstellt. In ihr konzentriert sich die gesamte Zug- und Haltekraft des ganzen oberen Teiles des Schenkelbeins". Merkel läßt die Frage offen, ob das Schenkel-Spornsystem mit der Konstruktion eines Kranes zu vergleichen sei. Die Entscheidung hierüber will er Fachleuten überlassen. Er betont wiederholt, daß das Schenkelspornsystem eine rein teleologische Bedeutung hat und auch fehlen kann, wenn es für den Aufbau des Knochens nicht notwendig ist. Alle anderen Epiphysen der Röhrenknochen haben einen nach ihrer Entwicklungsgeschichte gleichen Bau.

Ausführliche Untersuchungen über die Knochenarchitektur beim Pferdeskelett sind von Eichbaum (8) vorgenommen worden. Seine Betrachtungen über die Statik und die Mechanik dieses Skeletts fußen auf den von v. Meyer, Wolff und von Roux gegebenen Erklärungen.

Bei seinen ausführlichen Untersuchungen fand er die Lehre von der gesetzmäßigen Anordnung der Spongiosa und Compacta der Knochen bestätigt. Ueberall sind die Knochenbälkchen in der Richtung des größeren Belastungsdruckes und Dehnungszuges angeordnet. An der am stärksten beanspruchten Knochenpartie findet sich nicht nur die stärkste Corticalis, sondern auch die Elemente der Spongiosa dort zahlreicher und stärker als an anderen Stellen. An den langen Extremitätenknochen ist immer die mediale (der Schwerlinie des Körpers am nächsten liegende Fläche) in der Compacta am stärksten entwickelt. „Bei senkrecht gestellten oder gebogenen Knochen endlich ist die Compacta jener Seite am dicksten, welche die Last vorzugweise zu tragen hat. Je stärker somit die Beanspruchung dieser Knochenseite oder -stelle, desto stärker die Entwicklung der Corticalis". Wo eine Markhöhle vorhanden ist, nimmt diese immer jene Partie ein, wo die Beanspruchung des Knochens am stärksten ist, da hier die Spongiosabälkchen sich zur Compacta zusammengedrängt haben. Um eine Annäherung oder Entfernung der Seiten bei den mit Biegungsfestigkeit beanspruchten Knochen zu verhindern, verlaufen Bälkchen und Lamellen, welche sich kreuzen und miteinander verbinden, von einer Seite zur anderen. Auch die Trajektorien darstellenden stärkeren Balken verlaufen in der Richtung des auf den Knochen einwirkenden Druckes und Zuges.

Auch Zschokke (45) hat eingehende Untersuchungen über das Vertebratenskelett ausgeführt und seiner Preisschrift vortreffliche Abbildungen beigegeben. Soweit er hierbei das Hufbein berührt, soll auf seine Feststellungen später zurückgekommen werden. — Uebereinstimmend mit den Gesetzen der Innenstruktur kommt Dettweiler (7) zu dem Ergebnis, daß die Struktur eines Knochens abhängig ist von der Funktion, also von der Art seines Gebrauchs, wenigstens betont er dies hinsichtlich des Fesselbeins, das er zum Beispiel beim englischen Vollblut und bayrischen Norier von gleicher Struktur gefunden hat.

Nach Kraemer (18—20) ist die Knochenstärke an den Gliedmaßen nicht nur abhängig von der Stellung derselben, sondern sie ist auch eine Begleiterscheinung des straffen sehnigen Baues des Tieres. Er mißt der Einwirkung der Sehnen auf das Fesselbein sehr viel Bedeutung zu; denn er behauptet: „Auf die Gelenke und Sehnen kommt alles, auf das Knochenvolumen nur wenig an".

In seinen Betrachtungen über „Das Gleichgewicht des Pferdes" berührt auch Schwyter (29) die Struktur und Statik der Knochen. Dort erzählt er von der Beschaffenheit der Knochen und „der Unsumme sogenannter Spitzbogenkonstruktion" der Spongiosa.

Wolter (44) führt die Leistungsfähigkeit des Metacarpus beim Pferde auf die mehr oder weniger stark entwickelte Spongiosa dieses Knochens zurück.

Silbersiepe (30) stellt in seiner Abhandlung transformatorische Prozesse bei Bruch des Fesselbeins fest. Seine Untersuchungen fußen hauptsächlich auf den bedeutenden Arbeiten von Wolff und Roux, wonach der Transformation der Spongiosa die Hauptrolle beim Heilungsprozeß und vor allen Dingen bei der Wiederherstellung der Gebrauchsfähigkeit des Tieres zufällt.

In seiner Abhandlung über „Die Struktur des Fesselbeins" kommt Goertz (12) zu dem Ergebniss, daß bei vollblütigen Pferden der Zweckmäßigkeit entsprechende „schmale Fesselbeine mit breiten Epiphysen und etwas festerer Struktur als bei den Schrittpferden" vorhanden sind. Kaltblütigen Pferden dagegen wird eine solide Stütze durch einen großen Umfang und eine steilere Richtung der Wände geboten. Die Innenarchitektur selbst ist nach Ansicht dieses Autors bei verschiedenen Pferdegattungen entsprechend verschieden.

Die Untersuchungen Tetzner's (33), welche uns Beiträge zur Kenntnis des Wesens und der Bedeutung der Transformation der Knochen für pathologische Verhältnisse schildern und in der Photographie zeigen, haben zu dem Ergebnis geführt, „daß die Natur bestrebt ist, die Funktionsfähigkeit der erkrankten Teile wiederherzustellen. Zu diesem Zwecke finden starke Umwandlungen in den betroffenen Knochen statt, Lockerung oder Verdichtung treten je nach Bedarf auf, und die innere Struktur der Knochen richtet sich vollständig nach den neuen Belastungs-, Druck- und Zugmomenten ein." Der Verfasser bemerkte außer dem regelmäßigen Verlauf der transformatorischen Prozesse Verdichtungen der Knochen an solchen Stellen, wo Belastungsmomente eine starke Aenderung erfahren haben. Er nennt die unregelmäßigen transformatorischen Vorgänge „pathologische Transformation" der Knochen. Die Untersuchungen wurden am Metacarpus und Metatarsus, am Sprunggelenk, endlich am Fessel- und Kronbein des Pferdes vorgenommen.

Grommelt (13) hat dort an den Mittelfußknochen bei Pferden, wo diese dem Druck ausgesetzt sind, eine stärkere Compacta und reichlichere Spongiosa gefunden. Er sagt: „Wir haben demnach im Verlauf der Spongiosazüge die Richtung zu erblicken, in denen Zug, Druck oder andere Kräfte, welche von außen her auf den Knochen einwirken, den konzentriertesten Widerstand im Knocheninnern finden, oder anders gesagt, die Spongiosa verläuft so, daß ihre Richtung sie für die Fortpflanzung einer Gewalteinwirkung von einem Ende zum anderen am geeignetsten macht." Die verschiedenen Knochenformen bei Warm- und Kaltblütern führt er auf rein mechanische Ursachen zurück, welche durch die verschiedenen Gebrauchsarten der Rassen gegeben sind.

Was im besonderen die **Struktur des Hufbeins** beim Pferd anbetrifft, so sind die hier gemachten Fortschritte leicht zu übersehen, wenn man auf Kersting (1777) (17) zurückgreift. Er sagt vom Hufbein, daß „die untere Fläche dichter ist, die beiden nach dem Ballen hingehenden stumpfen, höckerichten Spitzen ausgenommen, als welche fast schwammicht und mit Löchern

durchhöhlt sind; und gleichergestalt ist es auch inwendig voll kleiner Höhlungen oder Zellen."

Nach Strauß (1844) (32) „erscheint die Substanz des Hufbeins zwar sehr porös, besteht aber aus dichten Knochenblättchen, besonders gegen die Gelenkfläche zu".

Bereits vorn war erwähnt worden, daß der Franzose Bouley (1857) sich mit dem feineren Bau des Hufbeins, besonders auch der Spongiosa beschäftigt hat. Ueberhaupt hat dieser Autor die Phalanx so ausführlich beschrieben, wie wohl kein anderer vor ihm.

Die Compacta des Hufbeins setzt sich nach ihm aus der Corticalis, aus den Wandungen der im Innern gelegenen Gefäßkanäle und aus Knochenbälkchen zusammen. auf die sich zum Teil die Lamellen der Spongiosa stützen. Er schildert ihre Stärke an den verschiedenen Stellen und sagt, daß die von ihr quer in das Innere austrahlenden kräftigeren Lamellen ein Balkengerüst darstellen, dessen Balken die auf den Knochen einwirkenden Druckkräfte verteilen und ihnen den meisten Widerstand entgegensetzen.

Die die Blutgefäße im Innern des Hufbeins umschließenden Räume bezeichnet er als einen Sinus, er nennt ihn „sinus semilunaire".

Die Spongiosa füllt den Raum zwischen der Außen- und Innencompacta, den stärkeren Knochenbalken aus. Sie stellt die Summe der sich kreuzenden feineren Knochenlamellen dar, welche unzählige verschiedengeformte und verschiedengroße Zellräume, die miteinander kommunizieren, begrenzen. Sie verteilen ebenfalls den auf das Hufbein einwirkenden Druck und machen den Knochen diesem Druck gegenüber widerstandsfähig. So z. B. gehen diese Lamellen unter der Gelenkfläche senkrecht ab nach vorn zum Grunde des Streckfortsatzes, nach hinten zu nach dem halbmondförmigen Ausschnite. Im allgemeinen liegen die Lamellen in der Nähe der kompakten Teile enger beieinander, im Zentrum des Knochens weiter auseinander.

Ueber die Bedeutung dieser Knochenbälkchen war sich Bouley somit nicht im Zweifel.

Nächst ihm beschreibt Eichbaum (8) die statischen Verhältnisse der Phalanx, des Hufbeins, ziemlich genau. Er bringt

als Erster die Architektur dieses Knochens in nähere Beziehungen mit den verschiedenen auf die Phalanx einwirkenden Kräfte.

Nach ihm ist an der Insertionsstelle der tiefen Beugesehne in einer Ausdehnung von 2 cm die Compacta am dichtesten. Sie verflacht sich nach dem Sohlenrande zu allmählich, nach dem hinteren Rande zu schnell. Von dieser stark ausgeprägten Compacta strahlen die Knochenbälkchen nach vorn und unten und nach dem hinteren Teil der Gelenkfläche, das Strahlbein inbegriffen, aus. Eine weniger stark ausgebildete Compacta befindet sich der besprochenen Stelle gegenüber als Verdickung der Wandfläche, dicht unterhalb des Kronfortsatzes. Die von hier aus fächerartig sich aufblätternden Bälkchen sind nach abwärts und hinten, die anderen nach oben, also dem vorderen Teil der Gelenkfläche zu gerichtet. Die Trabekel des Sohlensystems sind bedeutend stärker als die des Wandsystems. Zwischen den beiden genannten kompakten Stellen spannen sich Querbälkchen aus, die einen rechten Winkel mit diesen stärksten Partien bilden.

Auf einem transversal in Höhe des Kronfortsatzes geführten Schnitt kommen zwei Systeme von kompakter Substanz zum Vorschein, welche zwei übereinander liegende Bogen bilden und durch senkrecht stehende Zwischenbälkchen mit einander verbunden sind.

„Vergleichende Messungen der Wandstärke des Vorder- und Hinterhufbeines ergeben, daß die Stärke der Compacta an der Wand- und Sohlenfläche des Vorderhufbeines schwächer ist wie an der hinteren. Die stärkste Stelle an ersterem zeigte einen Durchmesser von 2,5 bezw. 4,0 mm, an letzterem 5,5 bzw. 6,0 mm".

Entsprechend der Verlängerung der Achse des Kronbeines, welche das Hufbein am Uebergang der mondsichelförmigen zur halbmondförmigen Abteilung der Sohlenfläche, also an der Crista, trifft, finden wir an dieser Stelle die größte Verdichtung der Compacta als Zeichen der größten Spannung. Außerdem stellt das Innere des Hufbeins ein Gewölbe dar. Dieses ist im Stande den Stoß des Fußes auszuhalten. Gestützt wird es durch die schon erwähnten, rechtwinklig gestellten Bälkchen. Von diesen letztgenannten Stützelementen gehen einige in der Richtung des Zuges der tiefen Beugesehne. Sie übernehmen dadurch die

Vermittlung von der Sohlenfläche auf die Wandfläche, welche ebenfalls gewölbt ist.

„Das Kronbein drückt jedoch nicht allein in der Richtung seiner Achse, sondern wirkt auch entsprechend der Gestalt seiner Gelenkwalze pressend nach vorn und abwärts." Die für diese Funktion vorhandenen Bälkchen gehen vom vorderen Teil des Hufgelenks nach der Compacta der Wand und vom hinteren Teil desselben Gelenkes nach der Compacta der Sohle.

„Sagittaldurchschnitte der Vorder- und Hinterhufbeine von 8 Monate alten Füllenföten ergeben bereits im Wesentlichen dieselbe Einrichtung der inneren Struktur, wie bei dem Hufbein eines erwachsenen Tieres."

Die stärkere Inanspruchnahme der Hinterhufe beim Zug, im Sprung und Galopp hat eine dickere Compacta und eine mehr ausgeprägte Wölbung zur Folge, während die Vorderhufe auf einer embryonalen Stufe stehen bleiben.

Dort wo der Knochen durch Zug oder Druck stark in Anspruch genommen wird, finden wir immer eine starke Corticalis oder von ihr fächerartig ausgehend zahlreiche Bälkchen. Außerdem münden an der dichten Rindensubstanz große Ernährungslöcher, welche darauf schließen lassen, daß dort die ersten Ossifikationspunkte zu suchen sind.

Zschokke (45) vergleicht das Hufbein mit einem „halbmondförmigen, an dem Rande umgelegten Keile", der durch die Fleisch- und Hornblättchen an der Innenwand der Fußkapsel aufgehangen ist. Die innere Struktur beschreibt er an der Hand eines neben der Mitte des Knochens angelegten Sagittalschnittes. Die von der Gelenkfläche ausgehenden, leicht divergierenden Knochenblättchen sind Druckkurven; sie verlaufen namentlich an der Vorderwand, mit der sie ziemlich parallel gehen. Hier beobachtet man auch parallel mit der Gelenkfläche gerichtete, transversale Streckfasern. Von der hinteren Hufbeinwandung, und zwar vom Beugesehnenansatz aus, strahlen gegen die Spitze und die vordere Wand des Hufbeines Knochenspangen, welche als Zugkurven die Drucktrajektorien rechtwinklig schneiden. In der Mitte der Knochen sind weite Gefäßräume, welche eine Art Markhöhle darstellen."

An Frontalschnitten der Zehenknochen „treten die Spongiosabalken von den Gelenkflächen gleichmäßig an die innere und äußere Wand".

Stiegler (31), der in den Knochenschnitten eine gewisse Regelmäßigkeit erkennt, gibt eine Beschreibung von dem Verlauf der Spongiosa des Hufbeines, wie sie sich im Sagittaldurchschnitt darstellt. Diese stimmt mit der von Zschokke gegebenen Beschreibung von der Architektur des Hufbeins überein. Er sagt: „An Querschnitten war ebenfalls eine solche Regelmäßigkeit zu erkennen, indem die Bälkchen von der Mitte der Sohlenfläche strahlenförmig auseinanderlaufen, und zwar so, daß sie sich in feine dichte Netze auflösen, die namentlich in der Nähe der Gelenkfläche deutlich zum Ausdruck kommen, während die nach dem unteren Rande gelegenen mehr auseinander gehen, und sich an der Wandfläche nach oben umschlagen. Aus den erwähnten Umständen, namentlich der großen Porosität erklärt es sich, wie leicht äußere Einwirkungen, namentlich Druck, einen deformierenden Einfluß auf das Hufbein ausüben können."

Mit dem Bau des gesunden Hufbeins befaßt sich die Abhandlung Knauers (21), welcher vortreffliche Abbildungen von Durchschnitten dieser Phalanx angefügt sind, die allerdings teilweise verbildete, also krankhaft veränderte Objekte erkennen lassen. Aus seinen Betrachtungen ergibt sich folgendes: „Es sind als einwirkende Kräfte zu unterscheiden: Der Druck der Körperlast, der Zug der Hufbeinbeugesehne, der Zug der Zehenstrecksehne, der Druck des Aufhängeapparates." Den Körperdruck fangen zwei Gruppen von Knochenbälkchen beziehungsweise Druckelemente auf, eine dorsale und eine volare beziehnngsweise plantare. Die erstere setzt sich aus gewölbten, ungefähr mit der äußeren Wandfläche gleichlaufenden Platten zusammen, welche die vordere Hufbeinhälfte durchziehen. Sie werden senkrecht von anderen ebenen Platten durchquert, die mit dem Aufhängeapparat des Hufbeins, also mit den sogenannten Fleisch- und Hornblättchen der Hufhaut, in Fühlung treten. Es wird diese Bälkchengruppe hauptsächlich für Leistungen in der Bewegung beim Abschwingen des Hufes vom Boden in Anspruch genommen und sie „überträgt die Druckleistung als Zugleistung auf die Blättchenschicht." Die andere Bälkchengruppe, die volare wirkt während der Be-

lastung und in der Hauptsache in der Ruhestellung des Körpers, daher ihre auffallende steile Richtung und ihr Verlauf in der Knochenachse. Durch sie wird der Körperdruck größtenteils durch diejenige Sohlenpartie fortgeleitet, an die sich die tiefe Beugesehne inseriert, und wo die Corticalis sehr stark ist. Die Zugspannung der genannten Sehne schwächt einesteils die genannte Druckwirkung und leitet sie zum anderen auf das dahinter gelegene Strahlkissen über, damit den Hufmechanismus einleitend. „Die Zugkraft des Hufbeugers wird durch eine große Zahl radiärer Spangen außerordentlich verteilt und auf das untere Drittel der Hufbeinwandfläche sowie die dazu gehörigen Blättchen übertragen.“ Mit dem durch die dorsalen Platten einfallenden Teil der Körperlast wirkt sie ziehend an dem Aufhängeapparate. Diese Kraftentfaltung ist am vorderen Teile der Wandfläche am stärksten. Demgemäß sind hier die Fleischblättchen am längsten und dichtesten. „Zu einem kleinen Teil macht die Zugwirkung des Beugers sich durch die von der Hufbeinkappe herkommenden Balken als Spannung auf die Strecksehne geltend.“ Die Zugwirkung des Zehenstreckers wird teilweise auf die dorsalen Druckplatten und den mittleren Abschnitt der vorderen Wandfläche übertragen.“ Weiterhin tritt sie auch mit der Wirkung der tiefen Beugesehne in Verbindung und zwar durch kräftig entwickelte Balken, die aus der Faserrichtung des Zehenstreckers gebogen zur Insertionsstelle der Beugesehne verlaufen. Bei starker Inanspruchnahme findet die Strecksehne auf diese Weise den festesten Halt durch ihre senkrechte Einwirkung auf die Ansatzstelle der Beugesehne. Knauer sagt dann weiter, daß der dem Körperdruck entgegenwirkende Bodendruck als Zug auf den Blättchenapparat wirkt und von diesem auf die Architektur des Hufbeins übertragen wird, wo er mit den statischen Elementen der auf die dritte Phalanx einwirkenden Kräfte in Fühlung tritt. Der Körperdruck und die Wirkung der Beugesehne werden auf diese Weise verstärkt, zum Nachteil für die Blättchenschicht. Von den seitlichen Bandgruben verlaufen Trajektorien divergierend nach der Anheftungsstelle der Beugesehne und anderseits ebensolche in flachem Bogen durch den Hufbeinast der gleichen Seite, wo sie von Druckelementen ausgehend von der Sohlencompacta rechtwinklig gekreuzt werden.

Beim Foetus beschränkt sich die Architektur auf die in der Längsrichtung des Knochens verlaufenden Züge, die senkrecht zu der nach oben gewölbten Gelenkfläche stehen. Nach der Geburt scheiden sich diese in die dorsale und volare Gruppe von Drucklamellen, von denen die erstere sich von der Wandfläche her allmählich zu Platten formt. Erst mit der Funktion des Knochens bilden sich die Feinheiten in seinem statischen Aufbau aus.

Einige kurze Bemerkungen macht auch M. Lungwitz (23) über die Struktur des Hufbeins, indem er sagt: „Was die Struktur des Knochengewebes des Hufbeins anbetrifft, so besteht dasselbe zum kleineren Teil aus einer festen Rindensubstanz und zur Hauptsache aus einem grobmaschigen Balkengerüst (Spongiosa). Daher ist das Hufbein sehr porös und leicht. Die Porosität nimmt nach dem Sohlenrande hin zu. Die kompakte Substanz findet sich an der Sohlenfläche und besonders in der Gelenkflächengegend. Sie strahlt an der Wandfläche in feinen Zügen nach dem Sohlenrande zu aus. Im Inneren des Knochens verlaufen die zahlreichen Lamellen hauptsächlich von der Gelenkfläche nach der Sohlenfläche, besonders nach dem halbmondförmigen Ausschnitte, und von hier aus divergierend nach der Wandfläche."

Die **Zweckmäßigkeit der architektonischen Inneneinrichtung der Knochen** hat man sich auf folgende Weise erklärt:

Jeder Körper besteht nach den Lehren der Physik aus Molekülen, welche vermöge der Kohäsion mehr oder weniger fest aneinander gefügt sind. Dadurch ist die Konsistenz und Festigkeit der Körper bestimmt. Die Kräfte, die auf sie einwirken können, um die Moleküle von einander zu entfernen, sind verschiedene. Man unterscheidet zunächst zwischen Druck- und Zugkraft. Erstere versucht, die Moleküle einander zu nähern, die Zugkraft dagegen sie voneinander zu entfernen. Es ist im allgemeinen bekannt, daß mit jedem Zusammenpressen eines Körpers seine Dicke zunimmt. Am deutlichsten sehen wir das an einem Radiergummi. Mit dem Pressen geht ein Kürzer- und Dickerwerden einher. Das Kürzerwerden geschieht infolge Ueberwindung des Druckwiderstandes oder der rückwirkenden

Festigkeit. Das Dickerwerden ist die Folge einer Zugwirkung, da die Moleküle voneinander entfernt werden. Es muß also ein Zugwiderstand überwunden werden. Man nennt ihn auch absolute Festigkeit (Eichbaum).

Denkt man sich in einem Körper zwei Punkte, welche man durch eine Gerade verbindet, und errichtet man in dem einen von den beiden Punkten eine Senkrechte zu der Geraden, so ist die Kraft in der Richtung der Senkrechten bestrebt, die beiden Punkte gegeneinander zu verschieben. Die Kraft, welche diese Schiebung, Verschiebung, Scheerung oder Abscheerung bewirkt, nennt man Schub- oder Scheerkraft. Diese drei erwähnten Kräfte stellen die Grundarten dar, aus denen sich die beiden noch zu erwähnenden anderen Kräfte zusammensetzen. Die eine ist die, welche die Biegung eines Körpers veranlaßt und die Summe von Zug- und Druckkraft darstellt. Die Festigkeit, welche der Körper ihr entgegensetzt, heißt Biegungsfestigkeit oder relative Festigkeit. Als fünfte Festigkeit ist die Torsionsfestigkeit zu nennen. Sie widerstrebt der Kraft, welche den Körper zu zerwinden sucht.

Während die Statik die architektonischen Verhältnisse eines Körpers in der Ruhe lehrt, befaßt sich die Mechanik mit ihnen während der Bewegung. Man begreift diese Verhältnisse am besten unter Zuhilfenahme der graphischen Darstellung; denn diese gibt uns ein Bild von der gesamten Architektonik eines Körpers. Die bei Wolfermann (37) gemachten Erklärungen und in Frage kommenden Verhältnisse wurden von Ingenieur Probst in Bern gegeben. Sie sind an der Hand der dort vorhandenen Skizzen leicht verständlich. Wird z. B. ein Prisma in der Richtung seiner Längsache gedrückt, so besteht eine Spannung in der Richtung dieser Achse. Graphisch dargestellt würden demnach die Spannungslinien der Längsachse parallel laufen. Wirken zwei Kräfte in einem bestimmten Körperabschnitt in entgegengesetzter Richtung auf einen Körper ein, so entsteht eine Fläche zwischen ihnen, die sogenannte Trennungsfläche. Die Schubspannungen, welche infolge der Einwirkung dieser Kräfte auftreten, verteilen sich gleichmäßig auf die Trennungsfläche.

Befindet sich in einer Ebene eines Körpers in der einen Richtung eine Druck- und Zugspannung und in der zu dieser

senkrechten Richtung ein Schub, so resultiert aus diesen Spannungen eine Dritte, welche die Hauptspannung darstellt und welche sich graphisch als Diagonale des Parallelogramms der Kräfte einzeichnen läßt. Die in den Knochen der graphischen Darstellung der resultierenden Kraft entsprechenden Bälkchen- oder Plättchensysteme finden wir in dem unteren Ende der Tibia bei Rind und Hund. Die zu diesen Zügen gehörigen Konvergenzpunkte liegen außerhalb vom Knochen. Sie können aber auch im Knochen selbst vorhanden sein. Dies ist der Fall im unteren Ende der Tibia des Menschen.

Zur Erklärung der Verhältnisse, wie sie bei der Biegung sich gestalten, denkt sich Wolfermann Querschnitte senkrecht zu der Hauptachse. Wirkt nun in dem einen Endpunkt der neutralen Ebene eine Kraft in der Richtung der gedachten Querschnitte und bleibt die Ebene, in der der andere Endpunkt der neutralen Achse sich befindet, fest liegen, so tritt eine Beugung des Prismas ein. Die eine der beiden Ebenen, welche der betreffenden Kraft näher liegt, sucht fortgesetzt über die andere Ebene in der Richtung der Kraft hinwegzugleiten. Es tritt also eine Schubspannung, Schwung oder Abscheerung in Kraft.

Die Fasern des Prismas zwischen den beiden Ebenen sind teils verlängert, teils verkürzt. Sie gehen der neutralen Ebene parallel und entsprechen den Druck- und Zugspannungen. Die aus diesen Kräften resultierende Hauptspannung ist die Diagonale im Parallelogramm der Kräfte. In ihr gibt es keine Schubspannungen mehr und deshalb ist das Baumaterial dorthin konzentriert. Der Effekt ist der, daß mit Hilfe dieser Konstruktion Material gespart wird, der Körper leicht bleibt und trotzdem denselben Anforderungen gewachsen ist wie ein voller. Als Beispiel werden die Gelenkenden der Röhrenknochen und der Calcaneus genannt.

Es kann nun auch der Fall eintreten, daß die Kraft sich zusammensetzt aus der Druck- und Zugspannung einerseits und der Schubspannung andererseits. Angenommen, die letztere ist kleiner als die beiden anderen, so würden die resultierenden Hauptspannungen mehr Zug und Druck zu überwinden haben, also in ihrem Verlauf der neutralen Achse gegenüber wenig Abweichungen zeigen. Ist dieser prismatische Körper gebogen, so

ändert sich an der Konstruktion nur der Anfangsteil der Hauptspannungen, weil in ihm die Schubkraft größer ist als in dem nicht gebogenen Prisma.

Nach den von Culmann (Eichbaum (8) S. 9—19) aufgestellten Gesetzen der Statik wächst der Druck und der Zug in den Bahnen der Trajektorien von ihrem Anfang nach dem Teil, wo diese sich zu Bündeln vereinigen und parallel zur neutralen Achse verlaufen.

In der Richtung der Maxima von Zug und Druck sind die scheerenden Kräfte gleich Null. Sie wachsen nach der neutralen Achse und sind in ihr am größten. Druck und Zug sind in ihr gleich Null.

Um sich diese Verhältnisse anschaulich vorstellen zu können, empfiehlt Roux (28) ein Modell aus schlechtem Gummi zu Hilfe zu nehmen. Biegt man den Gummi, so bemerkt man auf seiner Oberfläche feine Falten, welche analog den Zugtrajektorien gelagert sind, also die Linien der größten Beanspruchung auf Zugfestigkeit darstellen. Drückt man den Gummi nicht mehr zusammen, so vergehen natürlich die Falten. Um die Zug- und Drucktrajektorien dauernd sichtbar zu machen, bestreicht der oben erwähnte Autor das Gummimodell dick mit flüssigem Paraffin.

Bei Deformation des Modells entstehen rechtwinklig zum Zug und rechtwinklig zum Druck Sprünge. Man kann also rechtwinklig zu letzteren die Druck- und Zugkurven einzeichnen. Durch Bestreichen des Modells mit einer dünnen Schicht Stearin erhält man die Abscheerungslinien. Da nun diese rechtwinklig zu den Druck- und Zuglinien stehen, kann man letzere nach dem Verlauf der Abscheerungslinien bequem einzeichnen.

## Die äußere Beschaffenheit des Hufbeins.

Das Hufbein des Pferdes, Phalanx tertia oder drittes Zehenglied, stellt einen von drei Flächen und ebensoviel Kanten begrenzten Knochen von so eigenartiger Form dar, wie sie kein anderer Knochen des Pferdekörpers auch nur annähernd besitzt. Es ist auch in der Natur schwerlich ein Gegenstand aufzufinden, mit dem die Form des Hufbeins verglichen werden könnte. Am

besten läßt sich wohl der Huf des Pferdes selbst dazu heranziehen, in dem das Hufbein verborgen liegt und zu welchem es sich ähnlich verhält, wie der Kern einer Frucht zu dessen Schale oder zur ganzen Frucht selbst.

Die dorsale Wandfläche ist nach vorn und nach den Seiten gekehrt, die dorso-kaudal gerichtete Gelenkfäche dient zur Artikulation mit der zweiten Phalanx und dem kleinen Strahlbeine und die volare Sohlenfläche ist am stehenden Pferde dem Erdboden zugewendet.

Wand- und Gelenkfläche sind durch den sogenannten Kronenrand, Wand- und Sohlenfläche durch den Sohlenrand und Gelenk- und Sohlenfläche durch den hinteren Hufbeinrand von einander geschieden.

Da, wo alle drei Flächen des Körpers zusammenstoßen, ist dieser Knochen jederseits in einen nach hinten gerichteten Fortsatz, den Hufbeinast, ausgezogen.

Die Wandfläche, Facies dorsalis, wölbt sich von einer Seite nach der anderen und ist beim ausgewachsenen Pferde in ihrem Verlaufe vom Kronen- nach dem Sohlenrande in ihrem vorderen Abschnitt, unterhalb des Kronenfortsatzes, leicht konkav eingebogen und weiter sohlenwärts mäßig konvex, in ihren Seitenteilen aber mehr geradlinig. Auf Horizontalschnitten besitzt sie beim Vorderhufbeine eine fast halbkreisförmige Gestalt, beim Hinterhufbeine dagegen mehr die eines Eiovals. Die Wandfläche ist schräg zur Sohlenfläche gerichtet und zwar so, daß ihr vorderer und mittlerer Abschnitt am schrägsten steht und nach den Hufbeinästen hin die Richtung allmählich steiler wird. Im allgemeinen ist die Fläche beim Vorderhufbeine in der Regel eine schrägere als bei dem Hinterhufbeine. In den verschiedenen Gegenden des Knochens ist sie verschieden hoch. Der vorderste Wandabschnitt ist der höchste. Gegen die Hufbeinäste hin verringert sich die Höhe allmählich. Durch viele kleine und größere Löcher, die dem Ein- und Austritt von Blutgefäßen usw. dienen, sowie durch kleine rinnenartige Vertiefungen erhält die Wandfläche eine rauhe, poröse Beschaffenheit. Man vergleicht deswegen das Hufbein unter anderem auch mit Bimsstein. Dieses Rauhsein ist besonders auffällig an den Hufbeinästen. An beiden Seiten der Wandfläche zieht sich je eine von dem Hufbeinast herkommende Rinne entlang, die Wand-

rinne oder Sulcus dorsalis. Sie ist am Hufbeinaste am tiefsten und beginnt hier in einem Ausschnitte, dem Astausschnitt, vor dem das Hufbein einen beulenartigen Höcker bildet. Vielfach ist der Astausschnitt überbrückt und zu einem Loche umgewandelt, dem sogenannten Astloche. Die Wandrinne verläuft unterhalb des genannten Höckers in leicht aufsteigender Richtung an der Wandfläche nach vorn, wird dabei immer flacher und verliert sich allmählich gegen die Hufbeinmitte hin oder endet in einem Ernährungsloche. Dicht vor dem Hufbeinaste, beziehentlich vom Astausschnitte durch den oben genannten beulenartigen Höcker getrennt, befindet sich jederseits unmittelbar unter dem Kronenrande eine Bandgrube. Diese stellt eine meist flache zuweilen aber auch ziemlich erhebliche Vertiefung dar, welche sich nach vorn zu verschmälert und sich seitlich am Kronfortsatze als ein schmaler, seichter Falz am Kronenrande entlang zieht, der sich nicht selten über den genannten Fortsatz hinweg verfolgen läßt.

Die zahlreichen Gefäßlöcher der Wandfläche sind in der Regel nach Menge und Größe in der Nähe des Sohlenrandes besonders auffallend. Auch bemerkt man hier am intakten Hufbeine vielfach dicht bei einander liegende, schmale, leistenartige Erhebungen, welche leicht strahlig von oben nach dem Sohlenrande hin verlaufen und an den verschiedenen Hufbeingegenden verschieden weit nach aufwärts zu verfolgen sind.

Die nahezu halbmondförmige Gelenkfläche, Facies articularis, die beim Foetus konvex, später flach und nach der Geburt konkav ist, stellt eine nach oben und hinten gewendete Gelenkvertiefung für das Kronbein dar. Sie wird durch das Strahlbein, für dessen Anschluß ihr schmaler hinterster Teil etwas schräg abfällt, kaudalwärts vergrößert und durch einen ganz flachen Sagittalkamm in eine etwas größere mediale und etwas kleinere laterale glatte Fläche geschieden. Da sich der Kronfortsatz an ihrer Bildung beteiligt, fällt sie von vorn nach hinten ab; sie ist auf einem schmalen hinteren Bezirk, wo das Strahlbein artikuliert, abgeschrägt beziehentlich abgedacht.

Die nach unten gekehrte konkave Sohlenfläche, Facies volaris, ist beim Hinterhufbeine mehr ausgehöhlt als beim Vorderhufbeine. Stellt man den Knochen auf eine ebene Fläche, so ruht er nur mit dem äußeren Rande dieser Fläche, dem Sohlen-

rande, der beim Vorderhufbein vorn leicht aufgebogen ist, auf der Unterlage. Durch eine rauhe Kante, die Crista semilunaris, die sich von einem Hufbeinaste im Bogen nach vorn und wieder nach hinten bis zum anderen Hufbeinaste hinzieht, wird die Sohlenfläche in zwei Abschnitte geschieden. Der vordere, größere und tiefer gelegene, hat eine mondsichelartige Form. Er ist in seinem mittleren und vorderen Teile glatt, wird aber nach den Hufbeinästen zu porös, löcherig, rauh; kleinere Poren begleiten zuweilen den ganzen Sohlenrand. Der hintere, kleinere Teil, die Facies flexoria, hat eine mehr halbmondförmige Gestalt und ist höher gelegen. Sie stellt gleichsam einen Ausschnitt aus dem vorderen Teile der Sohlenfläche dar. Wegen ihrer Form wird sie auch der halbmondförmige Ausschnitt genannt. Beide Flächenabschnitte werden durch eine rauhe, nach vorn gebogene Kante, der Crista semilunaris von einander geschieden, Dicht hinter dieser Crista befindet sich in der Mitte der Facies flexoria eine flache Beule, welche ebenso wie die Crista der tiefen Beugesehne zur Insertion dient. Beiderseits von der Beule zeigt sich ein etwa erbsengroßes oval-rundes Loch, das Sohlenloch, Foramen volare, zu welchem sich eine von dem gleichseitigen Hufbeinaste kommende Rinne im Bogen nach innen und vorn hinzieht, die Sohlenrinne, Sulcus volaris. Beide Rinnen verwandeln sich von den Sohlenlöchern aus zu einem innerhalb des Hufbeins gelegenen bogenförmigen Kanal, dem Hufbeinkanal, Canalis semilunaris, von dem aus Nebenkanäle in verschiedenen Richtungen innerhalb des Knochens abgehen und an der Wandfläche nach außen münden.

Kein anderer Fußknochen des Pferdes, ja, wohl überhaupt kein anderer Skeletteil desselben, besitzt so große und so viele Gefäßlöcher an seinen Flächen wie das Hufbein.

Der Kronenrand trennt die Wandfläche von der Gelenkfläche und geht von einem Hufbeinast, über den Kronfortsatz hinweglaufend, nach dem anderen. Er ist an beiden Seiten etwas ausgetieft und scharfkantig, vielfach aber auch durch Anlagerungen von Knochenmasse rauh geworden. An ihm, zum Teil auch dicht darunter, heftet sich die Hufgelenkkapsel an.

Der Sohlenrand trennt die Wandfläche von der Sohlenfläche. Er ist scharf und zuweilen zackig. In der Mitte ist er oft ein wenig ausgeschnitten. Der Bogen, den der Sohlenrand beschreibt, richtet

sich nach der Wölbung des Hufes und ist deswegen beim vorderen Hufbein runder, als beim hinteren. Da das Hufbein im Hufe mit seinem hinteren Teile etwas höher liegt als mit dem vorderen, so steigt auch der Sohlenrand kaudalwärts etwas auf, so daß sein vorderster Teil den tiefsten Knochenpunkt im Tierkörper darstellt.

Der hintere Rand des Hufbeins, der die Gelenkfläche von der Sohlenfläche trennt, stößt mit dem Strahlbein zusammen und geht beinahe geradlinig von einem Hufbeinaste zum anderen.

Der Kronfortsatz bildet den höchstgelegenen Punkt des Hufbeins. Er ist stumpf-dreieckig geformt und wird, weil er der Strecksehne zur Anheftung dient, auch Streckfortsatz, Processus extensorius, genannt. Da er der Kappe des Hufeisens nicht unähnlich ist, führt er auch die Bezeichnung Hufbeinkappe.

Die beiden Hufbeinäste beginnen seitlich am hinteren Hufbeinrande und bilden die am weitesten nach hinten reichenden Enden der Phalanx tertia. Sie werden nach dem Ende zu immer niedriger und schmäler.

Gleichwie es schwer fällt, unter vielen Hufen zwei sich vollständig gleichende herauszufinden, so sind auch in einer großen Zahl von Hufbeinen schwerlich solche zu entdecken, die in der Form sich vollständig gleichen. Große Verschiedenheiten lassen sich in der Größe der Objekte auffinden, dann aber auch in der Breite derselben, in der Steil- und Schrägstellung der Wandfläche usw. Im allgemeinen zeigt das Hufbein eines weiten Hufes eine sehr schräge Wandfläche bei mäßiger Aushöhlung der breiten Sohlenfläche, während anderseits bei der Phalanx des engen Hufes starke Aushöhlung der schmalen Volarfläche sich mit steiler Stellung der Dorsalfläche an den Seiten verbindet. — Das Hufbein des spitzgewinkelten Hufes wiederum besitzt eine auffallend schräge Richtung im vorderen Teile und ist im großen ganzen niedrig, während dasjenige des stumpfen Hufes hoch und durch eine steile Richtung der Wandfläche ausgezeichnet ist. Der durch die Mitte des Streckfortsatzes gelegte Sagittalschnitt liefert beim regelmäßigen Hufbeine zwei gleiche oder annähernd gleiche Hälften, bei den Hufbeinen der schiefen aber immerhin gesunden Hufe hingegen ungleiche Teilstücke.

Je peinlicher man die Prüfung unseres Knochens durchführt, auf umsomehr Abweichungen der einzelnen Objekte von einander wird man stoßen. Und bei alledem handelt es sich um gesunde Hufbeine. Selbstverständlich werden sich die Unterschiede steigern, sobald man die Untersuchungen auf kranke Objekte ausdehnt, und Neigung zur Erkrankung besitzt das Hufbein in so ausgedehntem Maße, wie das sich kaum von einem anderen Knochen des Pferdekörpers behaupten läßt.

## Die auf das Hufbein von außen einwirkenden Kräfte.

Auf die im Hufe eingeschlossene dritte Phalanx wirken sowohl Druck- wie Zugkräfte ein. Knauer ordnet sie in richtiger Weise folgendermaßen: 1. Der Druck der Körperlast; 2. Der Zug der tiefen Beugesehne; 3. Der Zug der gemeinschaftlichen Strecksehne und 4. Der Zug des Aufhängeapparates.

Da das Hufbein im Verein mit dem kleinen Stahlbeine, das seine Gelenkfläche vervollständigt, den abhängigsten Skelettabschnitt beim Pferd darstellt, so haben die Hufbeine der vier Gliedmaßen natürlich auch den größten Körperdruck auszuhalten. Die Richtung, in welcher dieser Druck sich geltend macht, wechselt beim laufenden Tiere; sie wird in den verschiedenen Bewegungsphasen: Auftritt, Durchtreten im Fesselgelenk, Abstemmen und Abschwingen, verschieden sein. Immer aber ist der Belastungsdruck von oben nach unten gerichtet. Das Hufbein wird somit versuchen, sich unter der Wirkung dieses Belastungsdruckes zu senken. Diese Senkung tritt auch ein, ist jedoch eine äußerst beschränkte, indem sie durch die das Hufbein umgebende und mit ihm auf seinem größten Oberflächenbezirke festverwachsene Haut eingeengt wird. Der Facies dorsalis und dem größten Teil der F. volaris der Phalanx liegt das Korium der Hufhaut innig und fest an, und dieses greift wiederum mit einer Unzahl von papillen- und lamellenartigen Vorsprüngen in entsprechende Vertiefungen der zur dicken, festen Hornkapsel umgewandelten Epidermis ein. Vor allen Dingen kommen als Trag- oder Aufhängeapparat des Hufbeins die Lamellen des Wandkoriums und die der Hornwand des Hufes in Betracht Die sogenannten Fleisch- und Hornblättchen

hängen das Hufbein an der Hornwand auf und verhindern die durch den Körperdruck angestrebte Senkung des Knochens. Die schräge Lage der Gelenkfläche vom Hufbeine und der Umstand, daß die in den verschiedenen Bewegungsphasen des vorwärtsschreitenden Beines wechselnde Druckrichtung hauptsächlich in der Sagittalebene verbleibt, läßt darauf schließen, daß der Aufhängeapparat im vorderen Teil des Hufes am meisten in Anspruch genommen ist. Die ihn bildenden Lamellen sind infolgedessen auch hier am längsten und am breitesten, auch stehen sie hier am dichtesten beisammen. Ihre Schmalseite ist der Wandfläche des Hufbeines derart zugewendet, daß der Höhendurchmesser der Lamellen senkrecht oder nahezu senkrecht gegen das Hufbein zeigt. Die senkrechte Stellung trifft wiederum für die vordersten Lamellen zu, von denen soeben behauptet wurde, daß sie den stärksten Zug auszuhalten haben. Gerade diese eigenartige Lage der Lamellen des Aufhängeapparates zum aufgehängten Objekte, dem Hufbeine, befähigt sie, dem Zuge dieses Organes am besten widerstehen zu können. Dabei folgen die Lamellen mit ihrem Längsdurchmesser dem Höhenverlaufe der Hufbeinwandfläche. Wenn in der anatomischen Beschreibung des Hufbeines niedrige leistenartige Erhebungen erwähnt werden, die an der Wandfläche des Knochens bodenwärts verlaufen, so entspricht diese Richtung im großen ganzen der Richtung der Blättchen des Aufhängeapparates.

Die Zugkraft der tiefen Beugesehne wirkt an der Facies flexoria der Sohlenfläche ein. Es verläuft diese Beugesehne volar von den Fußknochen nach abwärts, verbreitert sich etwas oberhalb ihrer Insertionsstelle fächerförmig und inseriert sich hauptsächlich an der im Bogen von einem Hufbeinast zum anderen verlaufenden Crista semilunaris. Bei der Wirkung dieser Sehne bez. der zu ihr gehörenden Muskeln gelangt das Hufbein in Beugestellung zu den übrigen Fußknochen. Mit der Sehne ist in der distalen Partie die Zehenbinde verwachsen, die besonders bei abnormen Steilstellungen des Fußes und beim Abstemmen desselben vom Erdboden erheblicher Anspannung unterliegt.

Die entgegengesetzte Wirkung entfaltet die dorsal an den Fußknochen gelegene gemeinschaftliche Strecksehne, die am Processus extensorius der Phalanx tertia endet.

Diesen vier Hauptkräften gegenüber treten die übrigen auf unsere Knochen einwirkenden Kraftmomente zurück. Es kommen als solche in Betracht: 5. jederseits die Zugkraft des Seitenbandes, die besonders unter pathologischen Verhältnissen, z. B. bei krankhafter Schiefstellung des Fußes eine größere Bedeutung erlangt, und 6. der Zug des kurzfaserigen Strahlbein-Hufbeinbandes, dessen Wirkung wegen seiner Verwachsung mit der tiefen Beugesehne mit derjenigen der ebengenannten Sehne mehr oder weniger verschmilzt.

Die Wirkung der den Hufbeinästen aufsitzenden Hufknorpel, auf die Hufbeinmasse, wenn sie sich bewegen, dürfte unter physiologischen Verhältnissen lediglich die Umgebung ihrer Insertionsstelle betreffen.

## Die innere Struktur des Hufbeines.

Ueber die innere Beschaffenheit des Hufbeines orientiert man sich am besten auf Durchschnitten, die in verschiedenen Richtungen durch den Knochen angelegt werden. Ich habe deshalb sowohl Längs- wie Querschnitte ausgeführt und die ersteren als Sagittal- und Radiärschnitte, die letzteren als Transversal- und Frontalschnitte angefertigt; auch solche, welche sich mehr der Horizontalebene näherten und andere wiederum, die mehr der Wandfläche parallel verliefen, wurden untersucht. Es fanden dazu ältere, d. h. in längerer Aufbewahrung befindliche Hufbeine Verwendung, vor allem wurden solche Objekte ausgewählt, welche frei von krankhaften Veränderungen waren. Von den meisten ist anzunehmen, daß sie von Pferden stammen, die kürzere oder längere Zeit ihre Arbeit auf harten Straßen verrichtet haben und infolgedessen zu Hufen gehörten, welche mit Hufeisen beschlagen gewesen sind. Bei einer solchen Auswahl macht man die Erfahrung, daß es durchaus nicht leicht ist, vollständig gesunde Hufbeine aufzufinden. Bei den allermeisten Pferden lassen sich pathologische Veränderungen, wenn auch oft nur in geringem Umfange, feststellen. Deswegen wurde besonders auch nach solchen Hufbeinen geforscht, die jüngeren Pferden angehört haben und von denen bestimmt bekannt war, daß ihre Hufe noch nie

beschlagen worden sind. Die Sammlung der Lehrschmiede zu Dresden erleichterte mir die Auswahl geeigneter Objekte ganz wesentlich.

Ich trennte mir in den oben genannten Richtungen mit der Kreissäge plättchenartige Stücke von ungefähr $^1/_2$ mm Dicke heraus und versuchte sie nach dem Vorgange anderer Autoren durch Kochen in schwacher Sodalösung von der bindegewebigen Füllmasse der Maschen zu befreien, um im photographischen Bilde das reine Knochengewebe zu erhalten. Verschiedene Forscher haben bewiesen, daß die hellen Knochenscheiben sich auf schwarzem Grunde, wozu allgemein Sammet empfohlen wird, sehr schön abheben. Die Entfernung der bindegewebigen Füllmasse gelang mir jedoch selbst bei anhaltendem Kochen besonders aus feineren Lücken des Knochengewebes nur mangelhaft. Es blieb nicht aus, daß bei dem Gebrauch der ausgekochten Furnierblättchen Knochenpartikelchen ausfielen. Das geschah in erhöhtem Maße dann, als der Wasserstrahl zur Beseitigung des Bindegewebes zu Hilfe gezogen wurde. Daß dies anderen Autoren (Tetzner, Goertz) ebenso ergangen ist, lassen z. B. abgebildete Fesselbeindurchschnitte mit ihrer übergroßen Markhöhle erkennen. Grommelt (13) hat diesem Uebelstand in der Weise vorgebeugt, daß er vor Gewinnung der Furnierblättchen die halbierten Metakarpalknochen in Paraffin einbettete. Ich habe schließlich auf Vorschlag des Herrn Prof. Lungwitz die Entfernung des Markgewebes ganz unterlassen, weil die Abbildungen von Knauer (18) davon überzeugen, daß genauer als die Photographie das Röntgenbild des Furnierblättchens die Knochenstruktur veranschaulicht. Die einfache Photographie der gebleichten bez. entfetteten hellen Furnierblättchen präsentieren sich zwar auf dem schwarzen Grunde in wunderschöner Weise, denn der Gegensatz zwischen dem hellen Knochengewebe und dem schwarzen Untergrunde wirkt auf den ersten Blick sogar bestechend; läßt man jedoch das Auge längere Zeit auf dem Bilde ruhen, so wird man gewahr, daß in den sogenannten Knochenzellen hie und da noch Markgewebe vorhanden ist und daß durch dieses die architektonische Struktur, vor allem bei Knochen wo sie kompliziert ist, stellenweise verwischt wird. Auf diese Weise gewonnene Abbildungen der Röhrenknochen des Pferdes machen davon keine

Ausnahme, wenn bei ihnen sich auch wegen der größeren Uebereinstimmung im Verlauf der Knochenbälkchen die architektonischen Verhältnisse noch am besten überblicken lassen. Unter den Knauer'schen Abbildungen vom Hufbeine befinden sich zwei Röntgenbilder. Ihr Totaleindruck ist wegen des dunklen Objektes auf dem hellen Grunde kein so bestrickender wie der der übrigen Abbildungen, die einfache Photographien auf schwarzem Grunde darstellen. Ohne Zweifel aber sind an jenen Röntgenbildern die Strukturverhältnisse viel genauer zu verfolgen als bei den anderen Abbildungen. Die Röntgenphotographie macht zudem die vorherige Entfernung des Markgewebes überflüssig. Ich habe mich deswegen allein auf Röntgenbilder beschränkt und einige von ihnen in vergrößertem Maßstabe herstellen lassen. Gerade die letzteren dürften über die innere Beschaffenheit des Hufbeines den besten Aufschluß geben.

Durchschnitte durch das Hufbein ergeben zunächst die bekannte Tatsache, daß innerhalb der sogenannten Substantia compacta spongiöse Knochenmasse vorhanden ist. Die Compacta ist im allgemeinen schwach ausgebildet. Daß sie weiter nichts darstellt als dicht zusammengedrängte Substantia spongiosa, ist an verschiedenen Abbildungen ziemlich deutlich zu erkennen. Die Spongiosa des Hufbeines wird durch ein Fachwerk repräsentiert, dessen Balkenzüge sich scheinbar wirr kreuzen und regellos aneinander gefügt sind. Die genauere Prüfung ergibt jedoch auch hier die Tatsache, daß die Anordnung der einzelnen Spongiosazüge der physiologischen Beanspruchung des Knochens entspricht. Die Einwirkung so verschiedener Kräfte auf das Hufbein an verschiedenen Stellen, wie dies S. 33 ff. angegeben ist, bringt es mit sich, daß die Architektur des Hufbeines eine viel kompliziertere ist, als die der Röhrenknochen des Pferdes.

Schon die äußere Form unserer Phalanx läßt erkennen, daß sich die Natur der Beanspruchung des Knochens angepaßt hat. Kuppelartig wölben sich unterhalb der Gelenkfläche, also unter derjenigen Knochenplatte, auf welcher die Körperlast ruht, die beiden anderen Flächen, die Wandfläche und die Sohlenfläche. Im Bogen spannt sich die Compacta der Wandfläche von einer Seite zur anderen, und selbst in der Richtung von oben nach unten macht

sich ein geringer bogiger Verlauf an ihr bemerkbar. Im Bogen erstrekt sich auch die Compacta der Sohlenfläche von einer Seite zur anderen, sowie von vorn nach hinten. Unbedingt wird durch diese kuppelartige Anordnung der Knochenrinde die letzere befähigt, einer starken Belastung Widerstand zu leisten. Es werden aber auch durch sie den eingeschlossenen und verschieden gerichteten Spongiosabälkchen günstige Angriffsflächen dargeboten, wodurch die Leistungsfähigkeit der Spongiosa ebenfalls gesteigert wird.

Nachfolgend mögen einige Schnitte beschrieben werden, die durch gesunde, regelmäßige, auf beiden Seiten gleich oder annähernd gleich belastete Hufbeine gelegt wurden.

**Fig. 1.** Sie veranschaulicht einen genau durch die Mitte des Hufbeines gehenden Sagittalschnitt.

Dicht unterhalb des Streckfortsatzes, wo die Wandflächenkontur konkav eingebogen ist (rechts), und im oberen Drittel der Sohlenflächenkontur (links), an der Stelle der beulenartigen Erhebung der Facies flexoria, ist die Compacta am stärksten ausgebildet. Es liegen sich diese beiden Stellen stärkster Corticalis gegenüber; von ihnen aus wird die Rindenschicht nach dem Sohlenrande zu und nach der Gelenkfläche hin allmählich schwächer.

Das Innere des Hufbeines ist von einer großen Zahl von Knochenbälkchen angefüllt, die, sich kreuzend bezw. mit einander verbindend, in den verschiedensten Richtungen verlaufen und deren Stärke untereinander nicht ganz übereinstimmt. Von ihnen mögen zunächst die unterhalb der Wandflächenkontur hinziehenden unser Interesse auf sich lenken. Sie verlaufen in der Richtung dieser Kontur, also schräg von oben nach vorn und unten, gehen aber mit dieser Kontur und untereinander nicht ganz parallel. Sie liegen ungefähr in der mittleren Gegend der Wandflächenkontur am dichtesten bei einander und divergieren nach oben und unten, also nach der Gelenkfläche und der Hufbeinspitze bez. dem untersten Sohlenbezirke hin, sodaß sie fast alle den Knochen der ganzen Länge nach durchziehen und einen leicht gebogenen Verlauf besitzen. Diese dünnen Knochenzüge nehmen ungefähr die ganze obere vordere, dorsale Hälfte des Bildes ein.

In der Nähe der Sohlenflächenkontur verhält sich die Spongiosa anders. Hier strahlen gleichsam von der Stelle stärkster Corticalis Knochenbälkchen aus; die mittleren von ihnen sind die stärksten, sie bilden teilweise Bündel von Knochenbälkchen und streben nach der Wandflächenkontur hin. Links und rechts von diesen teilweise senkrecht auf der Sohlenflächenkontur stehenden Knochenzügen verlaufen andere nach oben, der Gelenkfläche, und nach unten, nach der Hufbeinspitze hin; die äußersten davon berühren sich in der Compacta der Sohlenfläche. Die mittleren dieser strahlenförmig von der Sohlenfläche abgehenden Knochenbälkchen kreuzen nahezu rechtwinklig die oben beschriebenen mit der Wandfläche gleichlaufenden Spongiosazüge; in der Nähe des Hufbeinrandes erfolgt diese Kreuzung in einem mehr spitzen Winkel.

Von der Gelenkflächenkontur gehen Knochenbälkchen im ganzen Verlaufe dieser Kontur ab. In der Mitte derselben bezw. davor sind diese Knochenbälkchen nahezu senkrecht zur Gelenkfläche gerichtet; in der Streckfortsatzgegend verlaufen sie im Bogen, die Konvexität nach vorn gewendet, nach dem Grunde des Fortsatzes, und im unteren bezw. hinteren Abschnitte der Gelenkflächenkontur gehen sie teils im Bogen, teils mehr geradlinig von der Gelenkfläche weg, um an dem oberen Teile der Sohlenflächenkontur vor allem in der Crista-Gegend zu enden. Die Bogenbildung ist hier mitunter eine sehr bedeutende.

Unterhalb der Gelenkflächenkontur beobachtet man weitere Knochenbälkchen, welche parallel mit der ebengenannten Kontur verlaufen; die äußersten von ihnen liegen nicht allzuweit von der Gelenkfläche entfernt und sind sich nicht so dicht benachbart wie die an der Gelenkfläche selbst; die letzteren vereinigen sich zu einer dünnen Corticalis. Die Entfernung dieser parallelen, mehr oder weniger wellig verlaufenden Knochenzüge untereinander vergrößert sich allmählich mit ihrer Entfernung von der Gelenkflächenkontur.

Außerdem gehen schwächere Knochenbälkchen vom Grunde des Streckfortsatzes ab, die im Bogen nach der Stelle dickster Corticalis an der Sohlenfläche hinstreben. An gleichen Durchschnitten von anderen Hufbeinen traten diese Züge deutlicher hervor als in unserem Bilde.

Zwischen all diesen Knochenbälkchen gewahrt man an den verschiedensten Stellen kurze Verbindungsbrücken. — Die ganze Spongiosa des Bildes ist in der Gelenkflächenhälfte engmaschiger als in den übrigen Teilen des Durchschnittes. Die weitesten Maschen befinden sich zwischen den obenerwähnten Bündeln von Knochenbälkchen, die von der Sohlenfläche nach der Wandfläche hinstreben, sie sind ungefähr in der Mitte des Bildes bezw. etwas unterhalb der Mitte und mehr nach der Sohlenfläche zu gelegen. Es ist das diejenige Gegend, wo die Anatomie des Hufes den Canalis semilunaris hin verlegt, der, wie unser Bild zeigt, einen einfachen Kanal nicht darstellt.

**Fig. 2** ist ein Radiärschnitt desselben Hufbeins, welches Fig. 1 ergeben hat. Der Schnitt verläuft ebenfalls durch die drei Flächen des Knochens und zwar schräg von hinten und innen nach außen und vorn. Er hat das Sohlenloch getroffen, wodurch an der Kontur der scharfe Einschnitt zustande gekommen ist.

Die Corticalis ist an der Wandfläche dieser Schnittgegend verhältnismäßig dünn, beinahe gleich dünn in ihrem ganzen Verlaufe, also auch am seitlichen Auslaufe des Streckfortsatzes. Gleichfalls schwach ist die Corticalis an der Sohlenfläche. Die größte Dicke zeigt sie an der Crista semilunaris, die als Vorsprung der Sohlenflächenkontur in der Mitte auffällt; von hier aus verjüngt sie sich wiederum nach dem Sohlenrande zu. An der Gelenkfläche ist sie kräftiger als in Fig. 1.

Die Spongiosa ähnelt in ihrer Struktur derjenigen von Fig. 1. Nur ist sie weniger kompliziert. Beinahe auf der ganzen Schnittfläche verlaufen von der Gelenkflächen- nach der Sohlenflächenkontur die Knochenbälkchen nahezu parallel zu der Wandflächenkontur und nahezu untereinander parallel. Von der stärksten Corticalisstelle der Sohlenkontur aus streben einige wenige Bälkchenzüge senkrecht nach der Wandfläche hin, wobei sie immer undeutlicher werden, je mehr sie sich der genannten Fläche nähern. Andere Knochenbälkchen schlagen von derselben Stelle aus mehr die Richtung der Sohlenflächenkontur ein, dabei divergierend und im Bogen die oben erwähnten parallen Höhenzüge kreuzend. Von der oberen Hälfte der Sohlenflächenkontur wenden sich zahlreiche Knochenbälkchen nach der Gelenkfläche hin, von denen

die obersten auffallend im Bogen, die Konvexität gelenkflächenwärts gerichtet, verlaufen. Verschiedene Spongiosabälkchen in der Nähe der Gelenkflächenkontur weisen eine mehr parallele Lage zu dieser Kontur auf.

**Fig. 3** ist ebenfalls ein Radiärschnitt, der die Hufbeinhälfte weiter rückwärts als der Schnitt von Fig. 2 getroffen hat. Er verläuft durch den Hufbeinast, gerade an der Stelle, wo er seinen Anfang nimmt, also am kaudalen Ende der Hufgelenkfläche.

In der oberen Hälfte des Schnittes ist das Gefüge der Knochenbälkchen dicht, in der unteren Hälfte locker und weitmaschig. Hier ist die Corticalis, wenn man überhaupt von einer solchen sprechen kann, äußerst dünn; in der oberen Gegend des Schnittes ist sie besser ausgebildet, aber ebenfalls sehr schwach Die breitre dunkle Randpartie im oberen Abschnitte der Figur (rechts) ist die Gegend der Bandgrube. Der kleine Einschnitt darunter ist der Querschnitt des Wandkanals. Hier sind die Knochenbälkchen am stärksten. Sie gehen von da strahlenartig in allen Richtungen ab; vor allen Dingen fallen unter ihnen die gegen die Sohlenfläche hin divergierenden kräftigen Knochenbälkchen auf. — Dem Bandhöcker gegenüber liegt eine zweite, etwas weniger umfangreiche dunkle Partie (links). Sie betrifft den Querschnitt der Crista semilunaris, also der Insertionsgegend der tiefen Beugesehne. Auch von ihr strahlen nach allen Richtungen Spongiosazüge aus. Sie sind außerordentlich schwach. Einige kräftigere streben nach der Sohlenfläche hin, mit der sie schließlich nahezu parallel verlaufen.

**Fig. 4** stellt einen Transversalschnitt durch ein anderes Hufbein dar. Es handelt sich hier ebenso wie in den Figuren 1 bis 3 um ein Hinterhufbein. Die obere stärker gewölbte Kontur gehört der Wandfläche, die untere der Sohlenfläche an. Der Schnitt hat oben den distalen Teil des Streckfortsatzes, unten die Grenze des vorderen und hinteren Sohlenflächenbezirkes getroffen. Er geht quer durch den Canalis semilunaris, der beiderseits im Bilde als kirschkerngroßer, rundlicher, von Knochengewebe freier Bezirk auffält. Getroffen ist dieser Kanal in seiner hinteren Abteilung.

Die Corticalis ist an der Sohlenflächenkontur in der Mitte kräftig und wird nach beiden Seiten, dem Sohlenrande hin, allmählich schwächer. Dasselbe gilt von der oberen, der Wandflächenkontur. Da der Schnitt infolge der Schräglage von Wand- und Sohlenfläche des Hufbeins; diese ebenfalls etwas schräg; vor allem schräg die Wandfläche getroffen hat, so präsentiert sich die Corticalis an beiden Konturen in der Mitte etwas stärker, als sie in Wirklichkeit stark ist.

Die Spongiosa ist außerodentlich dicht und kleinmaschig. Ihre Bälkchen sind am stärksten zwischen den oben erwähnten Kanaldurchschnitten. Es kreuzen sich diese starken Spongiosabälkchen an ihrer Ursprungstelle und streben alsdann eine mehr parallele Lage einnehmend nach oben, der Streckfortsatzgegend, hin. Links und rechts von den Kanaldurchschnitten folgen zunächst Spongiosazüge, die wie die eben beschriebenen gleichfalls von der Sohlenflächenkontur abzweigen. Weiter nach dem Sohlenrande zu erfolgt der Abgang mehr im spitzen Winkel; es divergieren diese Bälkchen und kreuzen im Bogen, die Konvexität sohlenwärts gerichtet, die unter der Wandfläche hinziehenden Knochenzüge.

Die nahezu parallel mit der Wandflächenkontur verlaufenden Knochenbälkchen sind weniger stark und fallen deswegen im Bilde nicht sehr in die Augen. Sie liegen dicht beieinander. Wiederum befinden sich zwischen den verschiedenen Knochenbälkchen Verbindungsbrücken.

**Fig. 5** zeigt uns einen Transversalschnitt vom vorderen, unteren Teile dieses Hufbeins.

Die Corticalis ist an der Wand- und Sohlenfläche in dieser Hufbeingegend schwach und annähernd gleich stark; wenn sie im Bilde, (in der oberen Partie) breiter erscheint, so liegt das daran, daß der Schnitt hier die rauhe Wandfläche schräg getroffen hat. Die Spongiosa ist in der oberen Gegend des Schnittes engmaschig, in der unteren weitmaschig. Hier verlaufen die Knochenzüge derselben in der Richtung der Sohlenflächenkontur; am Sohlenrande kreuzen sie sich mit denjenigen unter der Wandfläche, bez. es stoßen beide Arten hier im spitzen Winkel zusammen. Von der ganzen Wandflächenkontur verlaufen Knochenbälkchen nach

abwärts, nach der Sohlenfläche hin; in der Mitte stehen sie mehr senkrecht auf der Wandfläche, nach beiden Seiten hin nehmen sie nach und nach mehr die Richtung der Wandflächenkontur an.

**Fig. 6.** Der Transversalschnitt geht durch die Hufgelenkfläche desselben Hufbeins, dem Fig. 4 und 5 entnommen sind.

Die Corticalis ist am kräftigsten links und rechts an den Bandgruben und am größeren, mittleren Teile der Sohlenflächenkontur, der die Facies flexoria im Querschnitte darstellt. Die oben gelegene Gelenkflächenkontur zeigt in beiden Vertiefungen eine dicke Corticalis; das liegt daran, daß der Schnitt hier die Gelenkfläche sehr schräg getroffen hat. An den beiden seitlichen Ausläufern des Bildes vermißt man eine eigentliche Compacta. Es sind das Hufbeinstellen in der Nähe der Sohlenäste. Hier zeigt die Spongiosa ein weniger festes Gefüge als in dem größeren mittleren Teile des Schnittes, wo sie besonders unterhalb der beiden Gelenkflächenvertiefungen ungemein dicht ist. Von der Gelenkflächenkontur aus erstrecken sich zahlreiche Knochenbälkchen nach abwärts, wobei die von dem Gelenkflächenkamm abgehenden divergieren. Von der Bodenfläche des Hufbeins aus kommen ihnen andere Knochenbälkchen entgegen. Beide Bälkchengruppen kreuzen sich vor allen Dingen an den oben erwähnten Stellen dichtester Spongiosa. Vom unteren Teile beider Bandgruben gehen kräftige Knochenbalken nach abwärts. Das Gleiche gilt von den an der Sohlenflächenkontur durch die starke Compacta markierten Querschnitte der Crista. Auch in diesem Schnitte wiederholt sich das Bild vom Verlauf der Knochenbälkchen in der Nähe des Sohlenrandes: die Kreuzung der von der Wand- und Sohlenfläche kommenden Spongiosazüge.

In Fig. 1 bis 6 sind die Hufbeindurchschnitte beinahe um das Doppelte vergrößert.

**Fig. 7.** Der Schnitt hat das Hufbein in nicht ganz horizontaler Richtung getroffen. Es handelt sich um zwei zusammengesetzte Halbschnitte. Sie nehmen ihren Ausgang vorn am Hufbein in mittlerer Höhe der Wandfläche, verlaufen durch das vordere Ende beider Wandkanäle und treffen die hintersten Enden der Hufbeinäste. Es müssen mithin die von oben, der

Gelenkflächengegend aus, nach unten verlaufenden Knochenzüge quer getroffen worden sein.

Die nach außen gewölbte zackige Kontur gehört der Wandfläche des Knochens an und zeigt eine schwache, poröse Compacta, die nach den seitlichen Enden des Bildes, also nach den Hufbeinästen hin sich fast ganz verliert und hier auch an der Sohlenfläche des Knochens unbedeutend ist. Die in der Mitte der konkaven Kontur bemerkbare starke Corticalis gehört der Facies flexoria und zum Teil der Crista semilunaris an. Hier inseriert sich also die tiefe Beugesehne. Vor ihr, inmitten der Knochenmasse, sieht man links und rechts die in ihrer hinteren Partie quer getroffenen und mit einer schwachen aber immerhin deutlichen Compacta umgebenen Sohlenkanäle. Die dazwischen liegenden größeren, unregelmäßig begrenzten Räume waren am Furnierblättchen unmittelbar nach dessen Anfertigung teilweise mit Gewebsmassen ausgefüllt, die später ausgefallen sind. Es scheint, als handele es sich in diesem Hufbeinabschnitte um eine Art Markhöhle.

Von ihr aus gehen strahlenartig die Spongiosazüge, dicht beisammen liegend, nach der Wandfläche und nach den Hufbeinästen hin. Sie beherrschen das ganze Bild. Zwischen ihnen bemerkt man zahlreiche kurze Verbindungsstücke. Die Maschen, die auf diese Weise zustande kommen, sind an der Peripherie des Knochens rundlich, in der Mitte desselben aber, und zwar auf dem größten Teil des Schnittes, länglich. Die Längsachse dieser Maschen liegt in der Richtung der von der Wandfläche abgehenden Spongiosazüge. Es beweist diese Erscheinung, daß die Hauptmasse der Knochenbälkchen plättchenartig beschaffen ist.

Außer Schnitten der beschriebenen Art legte ich auch einen solchen durch das Hufbein, der die Knochenmasse dicht unterhalb der Wandfläche traf und nahezu parallel mit der letzteren verlief. Er zeigte, daß unterhalb der Gelenkfläche hinter dem Streckfortsatze die Spongiosabälkchen dichter beieinander lagen und rundliche Maschen bildeten, während nach der Sohlenfläche hin die Maschen größer wurden und längliche Form hatten, wobei der Längsdurchmesser nach unten gerichtet war. Der Plättchencharakter der Knochenbälkchen war also auch hiermit bewiesen.

**Ergebnis.** Die beschriebenen Knochendurchschnitte ergeben bezüglich der Struktur des Hufbeins folgendes Bild: Das Hufbein wird von einem an den meisten Stellen äußerst dichten Fachwerk von Knochenbälkchen gebildet, die zum großen Teil eine blättchenartige Beschaffenheit besitzen und in der Stärke nicht ganz übereinstimmen. Diese Knochenbälkchen liegen an der Pheripherie des Hufbeins und in den Wandungen der größeren Gefäßkanäle so dicht beisammen, daß eine sogenannte Compacta zustande kommt. Es muß eine Außencompacta oder Corticalis und eine Innencompacta unterschieden werden. Die letztere zieht sich kanalartig von den beiden Sohlenlöchern in nahezu halbkreisförmigem Bogen dicht oberhalb der Sohlencorticalis und zum Teil in sie eingebettet nach vorn. Der von ihr eingeschlossene Hohlraum erweitert sich an seinem vorderen bogenförmigen Abschnitte. Von diesem Hohlraume zweigen Kanäle mit einer schwachen Compacta nach vorn, oben und nach den Seiten, also nach der Wandfläche ab, wo sie münden. Dadurch, daß in der Bogengegend diese Gefäßkanäle anastomosieren, kommen kompakte Knochenbalken zustande, die säulenartig die Gefäßhöhle, den halbmondförmigen Sinus Bouleys, passieren. Auch bekommt die Höhle dadurch, daß die Gefäßabgänge am Bogen teilweise dicht beisammenliegen, eine gekammerte Beschaffenheit.

Die Außencompacta, die Hufbeinrinde, stellt ein kuppel- bez. gewölbeartiges Gehäuse dar, zwischen dessen schräg übereinander gelegenen Wänden sich Knochenbälkchen in den verschiedensten Richtungen ausspannen. Die Compacta ist an der Gelenkfläche, am oberen Teile des Streckfortsatzes, und ferner in der Gegend des Sohlenrandes sehr dünn, im oberen vorderen Teile der Wandfläche, besonders am unteren Ende des Streckfortsatzes stärker und am kräftigsten an der Insertionsstelle der tiefen Beugesehne. Eine dichte Compacta befindet sich auch an der Ansatzstelle der beiden Seitenbänder des Hufgelenks. Es läßt sich demnach behaupten, daß überall dort am Hufbein, wo starke Zugleistungen sich geltend machen, also an den Ansatzstellen der Sehnen und Bänder, die Compacta am stärksten ausgebildet ist, und daß an der Stelle des stärksten Druckes, also an der Gelenkfläche, die Compacta nur geringe Stärke besitzt, daß sich dafür aber

unterhalb dieser dünnen Corticalis der Gelenkfläche, wie gleich hier bemerkt sein mag, ziemlich weit in den Knochen hinein eine dicht gefügte, engmaschige Spongiosa nachweisen läßt.

Die sich zwischen den Hufbeinflächen, der Corticalis, und ferner zwischen den Gefäßkanälen ausspannenden Spongiosabälkchen verlaufen zwar in den verschiedensten Richtungen, sie passen sich aber dabei den auf das Hufbein einwirkenden Druck- und Zugkräften an und machen auf diese Weise die Knochenmasse diesen Kräften gegenüber widerstandsfähig. Deshalb hat man auch die Spongiosabälkchen und -plättchen in Systeme zu ordnen versucht. Eine solche Gruppierung der Knochenzüge ist möglich, es bleibt jedoch nicht aus, daß diese Systeme ineinander übergehen.

Die Elemente des Systems der Druckbalken (Drucktrajektorien) haben mehr die Richtung des einwirkenden Belastungsdruckes. Die Bälkchen stehen ziemlich senkrecht zur Gelenkfläche und verlaufen in großer Menge nach der Sohlenfläche hin. Unterhalb der Gelenkfläche vermischt sich mit ihnen ein zweites System von Bälkchen, welche mehr oder weniger parallel mit der Gelenkfläche verlaufen. Beide Bälkchenarten verbinden sich miteinander. Bestimmt wird durch diese Anordnung der Bälkchen dicht unterhalb der Angriffstelle des aus der Körperlast entspringenden Belastungsdruckes das Gerüst von Knochenbälkchen unter der Gelenkfläche, auf das sich jener Druck verteilt und wodurch er auch der Corticalis mitgeteilt wird, besonders widerstandsfähig.

Ein zweites System bilden diejenigen Knochenbälkchen, welche von der Anheftungsstelle der tiefen Beugesehne, also vom halbmondförmigen Ausschnitte des Hufbeins abgehen. Dieses System von Zugbälkchen (Zugtrajektorien) läßt sich scharf von dem oben beschriebenen Gelenkflächensysteme unterscheiden; es besitzt die stärksten Knochenbälkchen, und zwar sind diese am stärksten an der Ansatzstelle der Beugesehne. Die Bälkchen dieses Beugesehnensystems gehen von der Hufbeincrista strahlenartig, man kann wohl sagen, nach allen Punkten des Hufbeins; sie gehen nach den verschiedensten Stellen der Wandfläche, sie gehen nach der Gelenk- und nach der Sohlenfläche und ebenso in die Hufbeinäste hinein. In der Gegend des Sohlenrandes kreuzen sie die unter der Wandfläche gelegenen

Knochenbälkchen bezw. sie gehen mit ihnen eine spitzwinklige Verbindung ein.

Weniger ausgeprägt als das vorige ist das System der Strecksehnenbälkchen, Zugbälkchen, welche die Strecksehne betreffen. Sie verlaufen von der Ansatzstelle der gemeinschaftlichen Strecksehne aus in das Knocheninnere, wobei hauptsächlich die nach der Insertionsstelle der tiefen Beugesehne hinstrebenden auffallen.

Das vierte System von Knochenbälkchen, die wiederum Zugbälkchen sind, befindet sich jederseits in der Gegend der Bandgrube. Strahlenartig gehen von der Ansatzstelle eines jeden Seitenbandes des Hufgelenkes Spongiosabälkchen ab, unter denen sich teilweise kräftige Knochenlamellen befinden.

Zwischen den Bälkchen dieser Systeme befinden sich zahlreiche kurze Verbindungsbrücken, die gleichsam Stützelemente für die ersteren abgeben.

Der vom Aufhängeapparate des Hufbeins auf das letztere einwirkenden Zugkraft steht ein eigenes Balkensystem nicht zur Verfügung, wenn man nicht die Summe der vielen zwischen der Wandfläche und der Sohlenfläche gelegenen kurzen Verbindungsbrücken als ein solches auffassen will. Die Verteilung dieser Zugkraft auf die gesamte große Wandflächencorticalis und ihre Wirkung in der Richtung derselben von unten nach oben scheint ein solches überflüssig zu machen.

Die Spongiosabälkchen sind meist plättchenartig beschaffen. Das tritt vor allem dort in die Erscheinung, wo die Spongiosa ein weniger dichtes Gefüge besitzt.

In der unteren Sohlenflächen- und der Sohlenwandgegend sind die Spongiosamaschen am weitesten.

## Zur physiologischen Transformation des Hufbeines.

Es ist eine bekannte Tatsache, daß das Hufbein vielfach verbildet angetroffen wird. Wohl mit jeder anhaltenden Hufkrankheit, die sich nicht lediglich auf die äußere Hornmasse des Hufes erstreckt, geht auch eine Veränderung des Hufbeins einher. Die Veränderung betrifft nicht nur die Form, sondern auch die

innere Struktur. Diese pathologische Transformation des Hufbeins soll hier unberücksichtigt bleiben.

Die Hufe sind andererseits, auch ohne daß man sie als krank bezeichnen kann, Veränderungen ausgesetzt, nämlich wenn die Belastungsverhältnisse des Hufbeins andere werden. Wir wissen, daß die regelmäßigen Hufe der Fohlen sich allmählich zu schiefen Hufen umwandeln, wenn sich am wachsenden Tiere in Anpassung an die Verhältnisse der Eltern-Tiere schiefe Beine ausbilden. Daß hierbei auch die Knochen Veränderungen durchmachen, ist u. a. vom Kron- und Fesselbeine beschrieben worden. So hat man z. B. gefunden, daß die Compacta an der mehr belasteten Seite gegenüber der weniger belasteten stärker wird. Auch die Spongiosa soll sich verändern. Von verschiedenen Forschern ist bezüglich der Transformation der Knochen behauptet worden, daß die Natur Knochenbälkchen dort wegnimmt, wo sie diese entbehren kann und andererseits die Spongiosa dort vermehrt, wo sie gebraucht wird.

Ich habe von einigen Hufbeinen, die gesunden Schiefhufen angehörten, die also beiderseits ungleich belastet waren, Transversalschnitte angefertigt, weil diese einen Vergleich der stärker mit der weniger belasteten Seite am besten ermöglichen.

**Fig. 8** veranschaulicht den Querschnitt eines Vorderhufbeines vom gesunden Schiefhufe, der in mittlerer Höhe der Wandfläche den Knochen getroffen hat. Die kürzere, etwas mehr gebogene Wandflächenkontur, im Bilde rechts, gehört der stärker belasteten Hufseite an. Abweichend von der Figur überraschte das Präparat selbst insofern nach seiner Anfertigung, als viel mehr wie erwartet worden war die Compacta an der Wandfläche der mehr belasteten Seite bedeutendere Stärke besaß, als auf der weniger belasteten. Es war auf jener eine dicke, weiße Rindenschicht zu beobachten. Das Röntgenbild aber läßt die Unterschiede beider Seiten nicht in diesem Maße erkennen; der innere Teil der dicken Corticalis des Durchschnittes tritt uns im Röntgenbilde als Spongiosa entgegen. Vergleicht man die Spongiosa der mehr belasteten Seite (rechts) mit der weniger belasteten (links) so kann man besonders mit der Lupe wahrnehmen, daß bei jener

die Maschen kleiner und die Spongiosabälkchen dichter beieinander gelegen sind als bei dieser. Die Natur hat also hier wie unter der die Körperlast stützenden Gelenkfläche des Hufbeines das knöcherne Fachwerk dichter gestaltet und auf diese Weise tragfähiger gemacht.

Innerhalb des Schnittes befindet sich ein Hohlraum, — es ist die Gegend des Gefäßbogens —, in dem dicke Knochenbalken, die sich nach oben hin baumartig verästeln, sichtbar sind. Sie befinden sich ausschließlich im Bilde rechts, also auf der mehr belasteten Seite und stellen gleichsam Stützen oder Säulen dar, welche das darüber befindliche Gewölbe zum Tragen besser geeignet machen. Die Natur hat somit auch auf diese Weise der vermehrten Beanspruchung dieser Hufbeinpartie Rechnung getragen.

**Fig. 9** gibt den Transversaldurchschnitt eines anderen Hufbeins, das ebenfalls von einem gesunden und zwar rechten Schiefhufe, einem Hinterhufe stammt, wieder. Das Hufbein hatte außen eine deutlich schrägere Wandfläche als innen. Der Durchschnitt ist von vorn gesehen abgebildet, so daß die mehr belastete Seite im Bilde links liegt. Man erkennt deutlich, daß sowohl an der Wandfläche als auch an der Sohlenfläche die Compacta auf der mehr belasteten Seite stärker ist als auf der weniger belasteten. Besonders deutlich ist das mit der Lupe zu sehen. Auch die Spongiosa ist auf der stärker belasteten Seite reichlicher vertreten und in der Nähe der Compacta engmaschiger als an der analogen Stelle der anderen Seite. Die von der Sohlencorticalis aus in die Spongiosa hineinstrahlenden Knochenbälkchen sind an der Seite vermehrter Belastung kräftiger. Zunächst geht etwas seitwärts der Mitte von der Sohlencompacta ein kurzer, breiter Knochenzug ab, der wie bei der Vergrößerung mit der Lupe zu sehen ist, aus drei Bündeln von Knochenbälkchen besteht, zwischen denen einige Verbindungsstücke quer verlaufen. Weiter nach außen, mehr nach dem Sohlenrande zu, streben nach der Wandfläche hin drei weitere Bälkchenbündel, die von einander ziemlich gleichen Abstand haben.

Auch **Fig. 6** läßt bei genauerer Betrachtung erkennen, daß das Hufbein, von dem der Schnitt stammt, in seiner hinteren Partie

asymetrische Hälften gehabt hat. Die rechte ist gedrungener und weniger breit als die linke. Die nochmalige Prüfung des ganzen Hufbeines zeigte zwar, daß der Schnitt nicht ganz in der Transversalen erfolgt ist, sondern auf der rechten Seite geringgradig weiter nach vorn zu liegt als auf der linken. Gewiß mag hierdurch die Asymetrie mit bedingt sein. Zu einem gewissen Teile beruht sie aber auch auf der stärkeren Belastung der rechten Seite, und eine Folge davon mag die kräftigere Ausbildung der Knochenbälkchen des Hufbeininneren sein. Die von der Sohlenfläche nach der Wandfläche ausstrahlenden Knochenzüge sind in den abhängigen Teilen des Hufbeines stärker und deutlicher ausgebildet als an der gleichen Stelle der linken Knochenhälfte.

**Ergebnis.** Auf Grund dieser Befunde muß angenommen werden, daß bei Hufbeinen von Schiefhufen, bei denen die ungleiche Belastung der beiden Hufhälften noch nicht zur Ausbildung pathologischer Verhältnisse geführt hat, die Natur das Bestreben äußert, durch Umbildung der architektonischen Struktur und der äußeren Form dem Knochen auf der mehr belasteten Hufseite eine größere Widerstandsfähigkeit zu verschaffen. Sie erreicht dies durch Erzeugung einer kräftigeren Compacta, durch Verdichtung der Spongiosa, deren Elemente sie verstärkt, und durch Bildung von Stützen bezw. Pfeilern, die von der Sohlencompacta in die Spongiosa hinein gegen die Compacta der Hufbeinwand verlaufen. Entweder sind diese drei genannten Veränderungen zu gleicher Zeit anzutreffen, oder es tritt die eine bez. andere von ihnen im Verhältnis zu den übrigen zurück.

Jedenfalls beweist diese physiologische Transformation des Knochens, daß die Natur, so wie sie die Gesamtarchitektur des Hufbeins der Statik und Mechanik entsprechend nach gesetzmäßigen Regeln gestaltet hat, auch bei Abänderungen der statischen und mechanischen Momente die Außen- wie Innenstruktur der Phalanx tertia ihrer abgeänderten Beanspruchung entsprechend umformt.

---

Die Ergebnisse (S. 45 u. 50) in Verbindung mit den Abbildungen zeigen, daß sich die Architektur der Knochen mit Hilfe der Röntgenphotographie recht gut einsehen läßt.

Bei meinen Untersuchungen wurde ich von Herrn Obermedizinalrat Prof. Dr. Lungwitz in jeder Weise unterstützt, wofür ich ihm auch an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank sage.

Der Röntgenapparat zur Herstellung der Photographien wurde mir in entgegenkommender Weise von Herrn Geheimen Rat Prof. Dr. Ellenberger zur Verfügung gestellt. Ich möchte nicht unterlassen, ihm dafür meinen verbindlichsten Dank abzustatten.

## Literatur-Verzeichnis.


1. *Aeby,* Zur Architektur der Spongiosa. Centralblatt f. d. mediz. Wissenschaften. Berlin 1873. Nr. 50.
2. *Bardeleben,* Beiträge zur Anatomie der Wirbelsäule. Jena 1874.
3. *Derselbe,* Architektur der Spongiosa im Wirbel, Kreuzbein und an den Wirbelenden der Rippen. Centralblatt f. d. med. Wissenschaften. Berlin 1874. S. 449, 529.
4. *Derselbe,* Die Wirbelsäule als Fachwerkkonstruktion. Centralbl. f. d. mediz. Wissenschaft 1874. Nr. 34.
5. *Bouley,* Traité de l'organisation du pied du cheval. Paris 1851. S. 18.
6. *Culmann,* Die graphische Statik. Zürich 1875. Tafel 9, Fig. 2.
7. *Dettweiler,* Die Aufgaben und Ziele der Züchtung eines schweren Arbeitspferdes. Deutsche landwirtschaftl. Tierzucht. 1904. Nr. 27.
8. *Eichbaum,* Beiträge zur Statik und Mechanik des Pferdeskeletts. Berlin 1890. S. 9--19, 113—117.
9. *Ellenberger-Baum,* Handbuch der vergleichenden Anatomie der Haustiere. Berlin 1915. 14. Aufl S. 137—139.
10. *Fick, L.,* Untersuchungen über die Ursachen der Knochenformen. Göttingen, 1857.
11. *Derselbe,* Neue Untersuchungen über die Ursachen der Knochenformen. Marburg 1858. S. 21.
12. *Goertz,* Untersuchungen über die Struktur des Fesselbeines mit Berücksichtigung der Zehenstellung und der Rassen des Pferdes. Inaug. Dissert. Berlin 1908.
13. *Grommelt, R.,* Beiträge zur Architektur der Compacta u. Spongiosa des Vorderröhrbeines des Pferdes u. zur Statik u. Mechanik dieses Knochens mit Berücksichtigung der regelmäßigen und unregelmäßigen Gliedermaßenstellungen. Inaug.-Dissertation. Berlin 1912.
14. *Hoffmann,* Widerstandsfähigkeit der Knochen. Berliner Tierärztlichen Wochenschrift. 1901. Nr. 2.
15. *Derselbe,* Tierärztliche Chirurgie. Bd. 1. S. 950.
16. *Hueter,* Anatom. Studien an den Extremitätengelenken Neugeborener und Erwachsener. Virchows Archiv. Berlin. 25. Bd. S. 598.
17. *Kersting, J. A.,* Unterricht, Pferde zu beschlagen. Göttingen 1777, S. 8.
18. *Knauer, P.,* Beitrag zur Statik und Mechanik des Hufbeines. Inaug. Dissertation. Giessen 1908.

19. *Kraemer,* Zur Frage der Knochenstärke der Pferde. Deutsche landwirtschaftl. Tierzucht. VIII. Jahrgang Nr. 28.
20. *Derselbe,* Nochmals die Knochenstärke der Pferde. Deutsche landwirtsch. Tierzucht. VIII. Jahrgang Nr. 31.
21. *Derselbe,* Die Knochenstärke der Pferde. Deutsche landwirtsch. Tierzucht. IX. Jahrgang 49 und 51.
22. *Langerhans,* Beitrag der Architektur der Spongiosa. Virchows Archiv, Berlin. Bd. 61. S. 229.
23. *Lungwitz, M.,* Der Fuß des Pferdes in Rücksicht auf Bau, Verrichtungen, Hufbeschlag und Hufkrankheiten. Hannover, 12. Aufl. von Leisering-Hartmann. Seite 50—54.
24. *Merkel,* Betrachtungen über das Os femoris. Virchows Archiv. Berlin Bd. 59. S. 237.
25. *v. Meyer, G. H.,* Die Architektur der Spongiosa. Archiv für Anat. und Physiol. v. Reichert und Du Bois-Reymond. 1867. S. 615, 628.
26. *Derselbe,* Die Statik und Mechanik des menschlichen Knochengerüstes. Leipzig. 1873.
27. *Derselbe,* Beiträge zu der Lehre von den Knochenkrankheiten. Henle u. Pfeifer. Zeitschrift für rationelle Medic. Neue Folge 3. Bd. Heidelberg 1853. S. 145 ff.
28. *Roux, W.,* Beiträge zur Morphologie der funktionellen Anpassung. Archiv für Anat. u. Entwicklungsgeschichte. Anat. Abteilung. 1885. S. 127.
29. *Schwyter, H.,* Ueber das Gleichgewicht des Pferdes. Bern. 1907. S. 29.
30. *Silbersiepe,* Die Fesselbeinfrakturen der Pferde. Monatshefte f. praktische Tierheilkunde. XIX. Bd. Stuttgart 1908. S. 289.
31. *Stiegler, A.,* Ueber bleibende Formveränderungen des Pferdehufes. Der Hufschmied. X. 1892. S. 172.
32. *Strauß,* Handbuch des Huf- und Klauenbeschlags, Wien 1844. S. 27.
33. *Tetzner, P.,* Beiträge zur Kenntnis des Wesens und der Bedeutung der Transformation der Knochen für Knochen- und Gelenkkrankheiten des Pferdes. Inaug.-Dissertation. 1911. Berlin.
34. *Virchow,* Knochenwachstum und Schädelformen. Virchows Archiv. Berlin. 1858. Bd. 13. S. 323—357. S. 331—334.
35. *v. Volkmann, R.,* Chirurgische Erfahrungen über Knochenverbiegungen und Knochenwachstum. Virchows Archiv. Berlin. 1862. Bd. 24. S. 512—540. S. 527, 520.
36. *Derselbe,* Virchows Archiv. Bd. 13. S. 327.
37. *Wolfermann, H.,* Beiträge zur Kenntnis der Architektur der Knochen. Archiv f. Anat. und Physiologie v. Reichert u. Du Bois-Reymond 1872. S. 312
38. *Wolff, J.,* Ueber die innere Architektur der Knochen und ihre Bedeutung für die Frage vom Knochenwachstum. Virchows Archiv. Berlin. Bd. 50. S. 389. 1870.

39. *Derselbe,* Die Lehre von der funktionellen Pathogenese der Deformitäten. Langenbecks Archiv für klinische Chirurgie. 1896 Bd. Nr. 53. S. 854 und 860.
40. *Derselbe,* Die Lehre von der funktionellen Knochengestalt. Virchows Archiv. 155. S. 260.
41. *Derselbe,* Gesetz der Transformation der Knochen, Virchows Archiv. Bd. 155. S. 80.
42. *Derselbe,* Das Gesetz der Transformation der Knochen. Berlin 1892.
43. *Derselbe,* Beiträge zur Lehre von der Heilung der Frakturen. Langenbecks Archiv für klinische Chirurgie. 1872, Bd. 14. Heft 2, S. 270.
44. *Wolter,* Die Knochen der einzelnen Pferderassen. Deutsche landwirtsch. Tierzucht. 1907.
45. *Zschokke,* Weitere Untersuchungen über das Verhältnis der Knochenbildung für Statik und Mechanik des Vertrebratenskeletts. Zürich. 1892. S. 89 ff.

## Erklärung der Abbildungen.

Sämtliche Abbildungen betreffen Röntgenaufnahmen von Hufbeindurchschnitten und zwar von gesunden Hufbeinen.

*Fig. 1.* Sagittalschnitt durch die Mitte des Hufbeins.
*Fig. 2.* Radiärschnitt desselben Hufbeins.
*Fig. 3.* Desgleichen (Anfang des Hufbeinastes).
*Fig. 4.* Transversalschnitt vom Hufbein.
*Fig. 5.* Desgleichen von demselben Hufbein.
*Fig. 6.* Desgleichen (durch die Gelenkfläche).
*Fig. 7.* Nahezu Horizontalschnitt (zwei Hälften).
*Fig. 8.* Transversalschnitt vom Hufbein des Schiefhufes.
*Fig. 9.* Desgleichen von einem anderen gesunden Schiefhufe.

Fig. 1 bis 6 sind vergrößerte Durchschnitte.

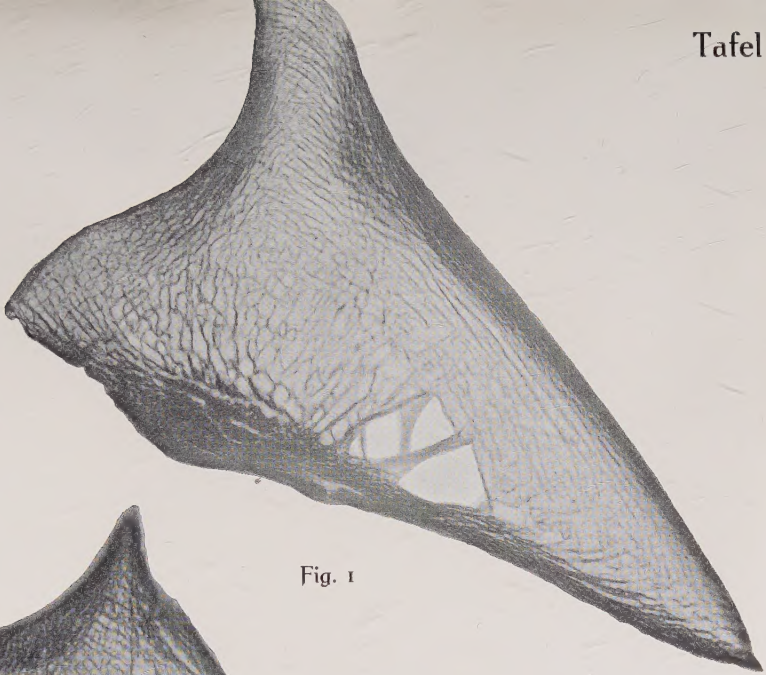

Fig. 1

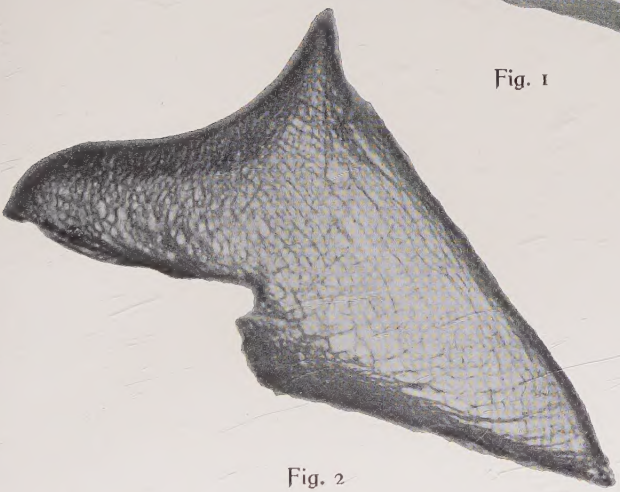

Fig. 2

Fig. 3

Fig. 7

Dämmler & Jonas
Dresden

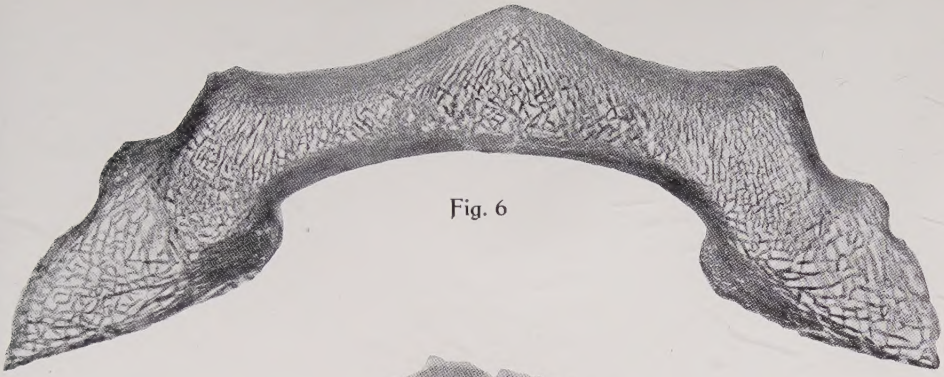

Fig. 6

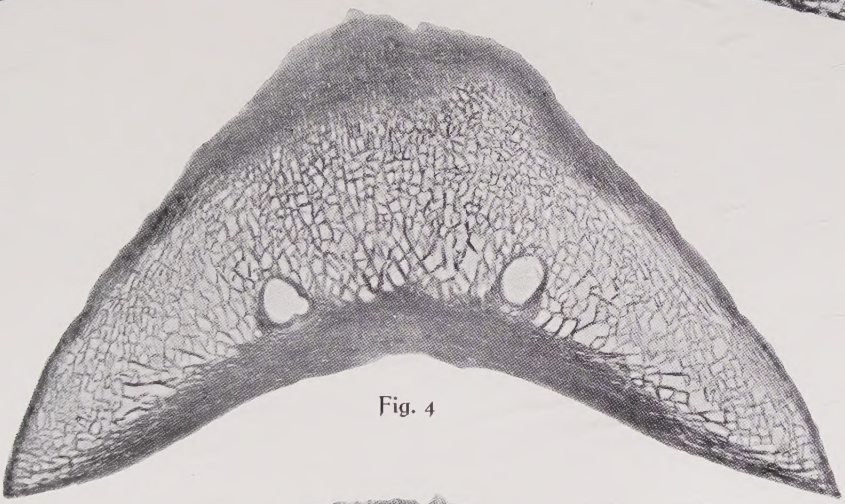

Fig. 4

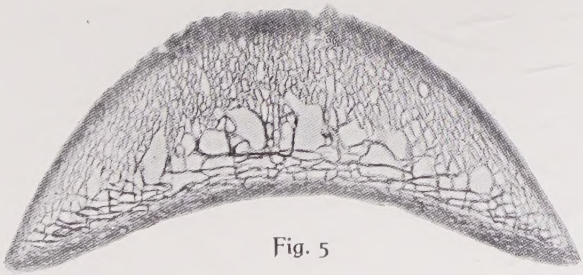

Fig. 5

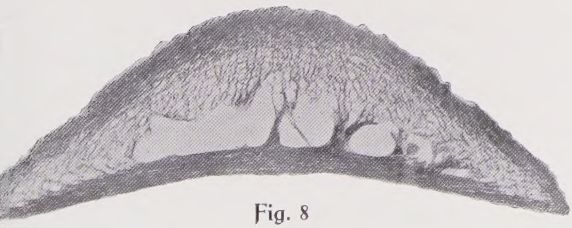

Fig. 8

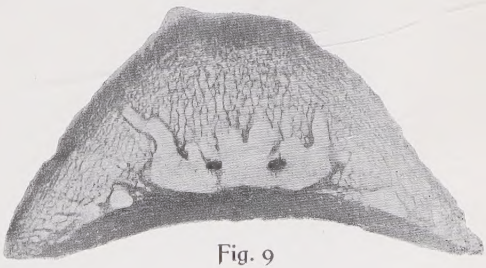

Fig. 9

Römmler & Jonas
Dresden